



Aprile 2024

Giraffe CE 2 S.r.l.

IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO COLLEGATO ALLA RTN
IN COMUNE DI *BONORVA E SEMESTENE*
POTENZA NOMINALE **32,11 MW**

Relazione geologica e geotecnica

AA-IT028-08-2022-002

<p><i>Progettazione</i></p> 	<p><i>Analisi e valutazioni ambientali e paesaggistiche</i></p> 
<p><i>Certificazione del sistema di gestione DNV</i> ISO 9001 e ISO 14001</p>	<p><i>Certificazione del sistema di gestione DNV</i> ISO 9001 e ISO 14001</p>



Committente

Giraffe CE 2 S.r.l.

Indirizzo Viale della Stazione 7,
39100 Bolzano (BZ) - Italia

Progettazione

Via Angelo Fumagalli, 6
20134 Milano - Italia
+39.0254118173

Analisi e valutazioni ambientali e paesaggistiche

Via Carlo Poerio, 39
20129 Milano - Italia
+39.02277441

Redazione	Dott. Giancarlo Carboni - Geosardegna
Revisione	Arch. Giulia Peirano
Approvazione	Dott. Ing. Corrado Pluchino
Codice di progetto	Codice distinto per AI e per Montana - anticipato del codice del progetto dato dal committente
Documento	Relazione geologica e geotecnica
Codice	AA-IT028-08-2022-002
Versione	01
Data	05/04/2024

INDICE

1. PREMESSA	5
1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO	7
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
3.1 GEOLOGIA GENERALE DELL'AREA VASTA	8
3.2 GEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO	9
3.2.1 Basamento cenozoico	9
3.2.2 Basalti pleistocenici del Logudoro	9
3.2.3 Depositi olocenici	10
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	12
5. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	13
6. IDROGEOLOGIA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA	14
6.1 CARATTERI CLIMATOLOGICI	14
6.1.1 Temperatura dell'aria	14
6.1.2 Precipitazioni	14
6.2 IDROGEOLOGIA LOCALE	15
6.2.1 Idrografia locale	15
6.2.2 Assetto idrogeologico locale	16
7. CONSIDERAZIONI SUL PERICOLO GEOLOGICO	17
7.1 PERICOLO GEOMORFOLOGICO	17
7.2 PERICOLO IDRAULICO	17
8. TETTONICA	18
8.1 FAGLIE ATTIVE E CAPACI (ITHACA)	18
9. RISPOSTA SISMICA DI BASE	19
9.1 SISMICITÀ STORICA	19
9.1.1 Tracce di paleosismicità	20
9.1.2 Sismicità storica della Sardegna centro settentrionale	20
9.2 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA	24
10. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	25
10.1 RISULTATI DELLA INDAGINE SISMICA MASW	26
10.2 APPLICABILITÀ DEL METODO SEMPLIFICATO	26
10.3 Vs EQUIVALENTE	26
10.4 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	27
10.4.1 Parametrizzazione sismica e Azione sismica	28
11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO	31
11.1 PROVE PENETROMETRICHE	31
11.1.1 Sintesi parametri geotecnici da prova penetrometrica	31
11.1.2 Coordinate punti di esecuzione prove penetrometriche	32
11.1.3 Fotografie esecuzione prove penetrometriche	32
11.2 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE MASW	32



11.3	CORRELAZIONI GEOTECNICHE DA INDAGINE SISMICA MASW	33
11.3.1	Correlazione ϕ -Vs	33
11.3.2	Correlazione Cu-Vs	33
11.3.3	Portanza	33
11.4	RISULTATI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE.....	34
11.4.1	Sismostratigrafia da rifrazione	34
11.5	SCAVABILITÀ DEL SUBSTRATO	34
12.	MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	36
12.1	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	36
12.2	STRATIGRAFIA SCHEMATICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA	36
12.3	STRATIGRAFIA AREA DI SEDIME TIPICA	37
12.4	PIANO DI INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA.....	38
13.	CONCLUSIONI	40

ALLEGATO/APPENDICE

ALLEGATO 01 Indagini sismiche MASW

ALLEGATO 02 Indagini con prove

1. PREMESSA

Il progetto in questione prevede la realizzazione, tramite la società di scopo Giraffe CE 2 S.r.l., di un impianto solare fotovoltaico di potenza pari a 32,11 MW in alcuni terreni a siti nei territori comunali di Bonorva (SS) e Semestene (SS); nello specifico, l'area catastale ha un'estensione di circa 77,77 ettari complessivi di cui circa 49,93 ha recintati.

Giraffe CE 2 S.r.l., è una società italiana con sede legale in Italia nella città di Bolzano (BZ) in Viale della Stazione 7. Le attività principali del gruppo sono lo sviluppo, la progettazione e la realizzazione di impianti di medie e grandi dimensioni per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il progetto in esame è in linea con quanto previsto dal: "Pacchetto per l'energia pulita (Clean Energy Package)" presentato dalla Commissione europea nel novembre 2016 contenente gli obiettivi al 2030 in materia di emissioni di gas serra, fonti rinnovabili ed efficienza energetica e da quanto previsto dal Decreto 10 novembre 2017 di approvazione della Strategia energetica nazionale emanato dal Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

L'opera ha dei contenuti economico-sociali importanti e tutti i potenziali impatti sono stati mitigati. Il progetto sarà eseguito in regime "agrivoltaico" che produce energia elettrica "zero emission" da fonti rinnovabili attraverso un sistema integrato con l'attività agricola, garantendo un modello eco-sostenibile che fornisca energia pulita e prodotti sani da agricoltura biologica.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su due diverse tipologie di strutture; ovvero, sia strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo trivellato nel terreno, sia su strutture fisse anch'esse mediante palo trivellato nel terreno.

Le strutture, sia fisse sia mobili, saranno posizionate in maniera da consentire lo sfruttamento agricolo ottimale del terreno; i pali di sostegno delle strutture sono posizionati distanti tra loro di 5 metri per l'intera area di impianto. Tali distanze sono state applicate per consentire la coltivazione e garantire la giusta illuminazione al terreno, mentre i pannelli sono distribuiti in maniera da limitare al massimo l'ombreggiamento. Saranno utilizzate due tipologie di strutture; la prima composta da 14 moduli e la seconda composta da 28 moduli.

I terreni non occupati dalle strutture dell'impianto continueranno ad essere adibiti ad uso agricolo e pastorale.

Il progetto rispetta i requisiti riportati all'interno delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici", pubblicate nel Giugno del 2022 dal MiTE (oggi MASE-Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) in quanto la superficie minima per l'attività agricola è pari al 79,82% mentre la LAOR (Land Area Occupation Ratio – rapporto tra la superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico e la superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico) è pari al 28,95%.

Infine, l'impianto fotovoltaico sarà collegato in antenna a 36 kV sulla sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica della RTN a 220/36 kV da inserire in entra-esce alla linea 220 kV "Codrongianos – Ottana".

È stato redatto il presente elaborato a carattere preliminare contenente la Relazione geologica, geotecnica e sulla risposta sismica preliminare in quanto documentazione integrante e di supporto alla fase progettuale relativa alla realizzazione di un Agrivoltaico ricadente nel Comune di Bonorva e di Semestene (SS).

Lo studio si propone di esaminare le caratteristiche geologiche dell'area di sedime e di un suo intorno significativo al fine di valutare la compatibilità geologica dell'intervento proposto. Si è provveduto a stilare il presente lavoro attraverso sopralluoghi e l'esecuzione di specifiche indagini del sito d'interesse.

I dati geologici sono stati rilevati da pubblicazioni esistenti e sono stati integrati dai dati ottenuti da indagini qualitative e quantitative eseguite attraverso l'esecuzione di indagini geofisiche con metodologie sismiche MASW e prove penetrometriche dinamiche.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. LL.PP. del 11/03/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

D.M. 17 Gennaio 2018

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

Bonorva è un comune di 3 200 abitanti della provincia di Sassari situato nella regione storica del Logudoro e nella sub-regione del Meilogu, a circa 156 km a nord di Cagliari e a circa 47 km a sud-est di Sassari. Nel suo territorio si trova l'altopiano di Campeda.

Il territorio bonorvese presenta un profilo geometrico irregolare con variazioni altimetriche accentuate, che vanno dai 314 m.s.l.m ai 791 m s.l.m.

Il centro abitato si trova lungo un pendio ripido a 509 m s.l.m., che ha alle sue spalle l'Altopiano di Campeda e ai suoi piedi la fertile piana di Santa Lucia.

L'area oggetto del presente studio è ubicata su un altopiano costituito da lave basaltiche che ricoprono un basamento costituito da calcareniti terziarie.



Figura 2.1: inquadramento su scala regionale

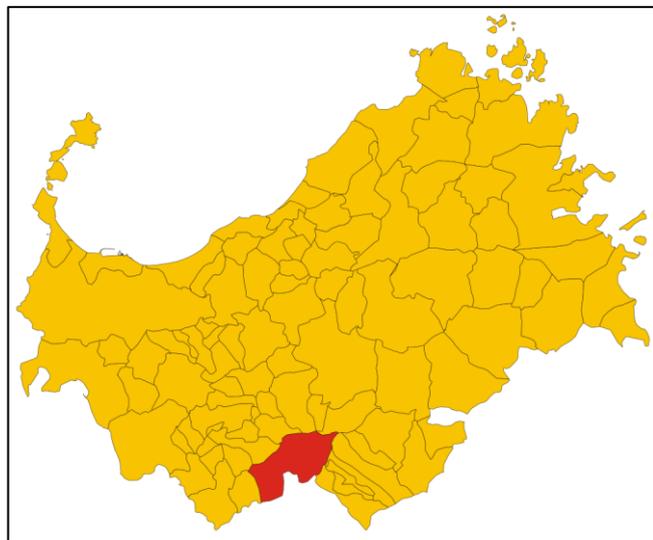


Figura 2.2: inquadramento del territorio comunale

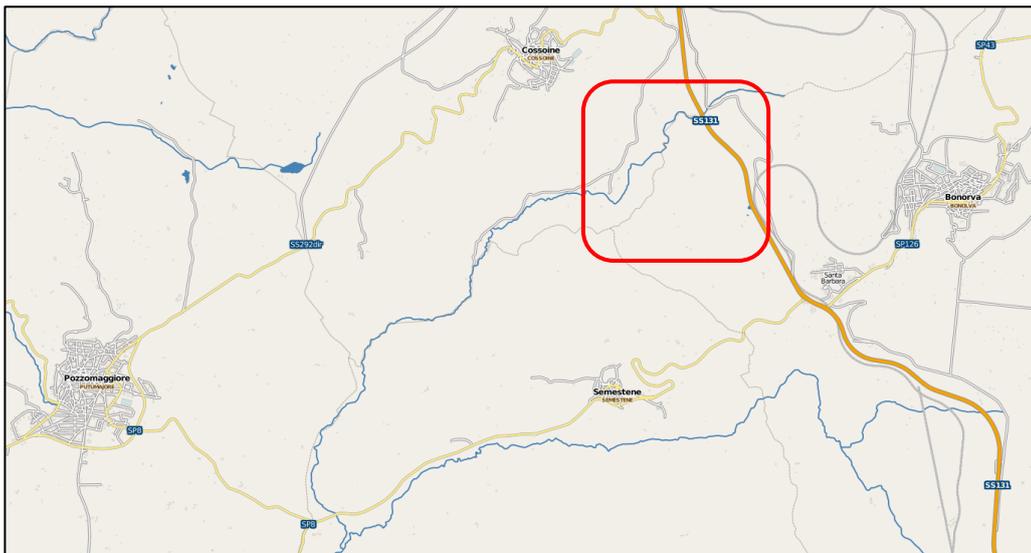


Figura 2.3: inquadramento su corografia a scala comunale

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 GEOLOGIA GENERALE DELL'AREA VASTA

L'area studiata è situata nella Sardegna nord-occidentale. Geologicamente si trova nel distretto vulcanologico del Logudoro-Bosano ed è contraddistinta dalla presenza di formazioni sedimentarie mioceniche e di vulcaniti appartenenti al ciclo oligo-miocenico.

In questa regione è stata osservata una potente sequenza vulcanica calcocalina oligo-miocenica, che consiste in una alternanza di lave e tufi di tipo trachitico, trachiandesitico e andesitico. Questa sequenza determina i lineamenti geologici principali della regione, insieme ai depositi sedimentari miocenici. Oltre a questi litotipi sono presenti ridotti depositi alluvionali recenti. L'area è caratterizzata da una piattaforma caratterizzata da una serie di banchi e strati inclinati ad Est, potente complessivamente circa 1000 m, composta da due principali successioni di litotipi vulcanici: una iniziale costituita da sequenze di basalti andesitici ed andesiti ed una terminale costituita da sequenze, potenti circa 500 m di espandimenti prevalentemente ignimbrici. Questi prodotti risultano ben visibili lungo la costa occidentale fra Alghero e Bosa, dove tutta la sequenza, esposta a reggipoggio, presenta una caratteristica gradinata. Il basculamento verso Est della piattaforma vulcanica è dovuto alla tettonica legata al Ciclo Alpino.

In particolare, gran parte del settore Nord Ovest della Sardegna è ricoperto dal grande complesso vulcanico miocenico definito "serie ignimbrica inferiore" (Tesi 1977 C. Coulon), con età K/Ar di 17.5 milioni di anni.

La "serie ignimbrica inferiore" costituisce l'evento vulcanico arealmente più diffuso della Sardegna occidentale. Essa affiora poco a Nord di Bosa e si estende in continuità sino ad Alghero ed Ittiri ed è formata da una sovrapposizione di flussi piroclastici pomiceo-cineritici per un totale di almeno 500 m di potenza. In seguito ad una tettonica estensionale post-eruttiva, le sequenze ignimbriche si presentano variamente dislocate e costituiscono delle monoclinali (cuestas) con inclinazione intorno ai 20°-30° ed immersione costantemente verso Nord-Est.

Le ignimbriti della serie inferiore sono essenzialmente a composizione riolitico-dacitica e presentano caratteri petrologici e vulcanologici che le assimilano a ignimbriti pomiceo-cineritiche; in alternanza si osservano ignimbriti porfiriche molto saldate a struttura zonata, in cui le bande possono essere nettamente discontinue.

Gli edifici dai quali sono stati emessi questi prodotti risultano generalmente di tipo fissurale. I meccanismi eruttivi dominanti, responsabili della messa in posto dei prodotti piroclastici, sono sostanzialmente riconducibili a collasso di colonne eruttive o a trabocco di prodotti schiumosi; le differenze nella efficienza di trasformazione dell'energia termica in energia meccanica esplosiva sono responsabili dei caratteri strutturali e tessiturali fondamentali. Oltre alla sequenza ignimbrica descritta nella zona sono presenti lave di tipo andesitico, in giacitura prevalentemente cupoliforme. In particolare, si tratta di lave andesitiche a ortopirosseno e clinopirosseno, sovrature in silice che si possono spesso ritrovare intercalate alle ignimbriti.

Tutta la formazione vulcanica è stata dislocata in seguito ad eventi tettonici che hanno in parte preceduto ed in parte seguito l'ingressione marina miocenica con la conseguente comparsa di fratture e sprofondamenti. Questa ingressione ha avuto come risultato una serie di depositi che consistono inferiormente in strati arenacei e superiormente in banchi calcarei del Miocene medio, per uno spessore di un centinaio di metri. La successione miocenica poggia per lo più su tufi trachitici talora caolinizzati.

Non si conoscono in questo settore formazioni più recenti del Miocene, per cui si presume che alla fine del Terziario si siano avuti fenomeni di assestamento e di erosione. Completano gli affioramenti, depositi alluvionali di età quaternaria che occupano i fondi valle.

3.2 GEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO

3.2.1 *Basamento cenozoico*

I basalti poggiano sulla “Formazione di Mores”. È la formazione miocenica che affiora con maggiori estensioni ed una notevole varietà di facies in relazione ai diversi contesti deposizionali che accompagnano l'evoluzione del bacino di sedimentazione (Rift sardo Auct.).

La litofacies che caratterizza in maniera prevalente il paesaggio è costituita da biocalcareni e calcari bioclastici, talora da conglomerati con un contenuto principalmente silicoclastico con cemento carbonatico da abbondante a scarso; in particolare nel territorio in esame (Loc. Santa Barbara) affiorano delle litofacies costituite da arenarie e conglomerati. Lo spessore di questa formazione è dell'ordine delle decine di metri, in relazione alla paleomorfologia delle sottostanti vulcaniti.

Le arenarie hanno generalmente colore grigiastro, granulometria grossolana, solitamente sterili ma talora fossilifere: si rinvencono echinidi, bivalvi e spesso macroforaminiferi. I conglomerati sono formati da ciottolotti, ciottoli e blocchi fino a 1-1,5 m di andesite a volte in matrice sabbiosa (sempre di natura vulcanica), a volte legati da cemento carbonatico;



Figura 3.1: affioramenti terziari lungo un taglio stradale in Loc. Santa Barbara

3.2.2 *Basalti pleistocenici del Logudoro*

Gli affioramenti che caratterizzano i litotipi affioranti nell'area in studio sono dati dai “Basalti del Logudoro”, la bibliografia esistente indica una potenza media delle colate intorno ai 5 m dove si osservano le tipiche porzioni basali autobrecciate scoriacee che sfumano a parti centrali caratterizzate da lava bollosa. La roccia si presenta la fessurazione colonnare tipica di effusioni laviche tipo plateau, legata a sistemi eruttivi indipendenti che talvolta vanno a colmare paleodepressioni dando luogo poi, con l'intervento degli agenti erosivi, ad evidenti fenomeni di inversione del rilievo, così come si osserva nel sito oggetto del presente studio.



Figura 3.2: affioramenti basaltici lungo un taglio stradale in Loc. Santa Barbara

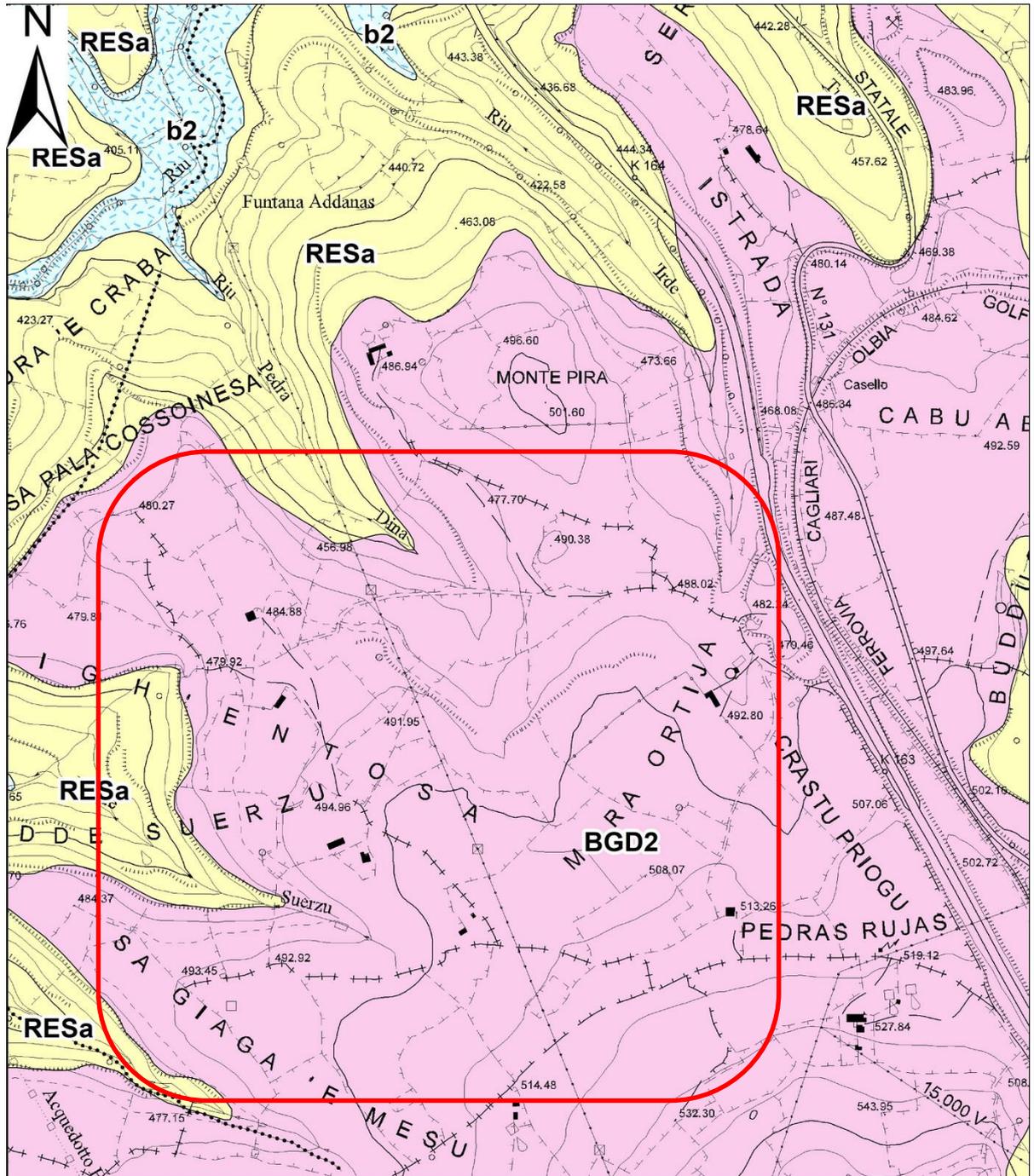
3.2.3 Depositi olocenici

I depositi olocenici nell'area sono costituiti da suoli argillosi, piuttosto sottili, derivanti dall'alterazione dei sottostanti basalti. Il loro spessore è limitato ad un massimo di qualche decina di centimetri, si presenta poco consistente e praticamente privo di scheletro nei livelli più superficiali.

In misura minore sono presenti nei fondivalle depositi sabbiosi e ciottolosi di deposizione fluvio-torrentizia.

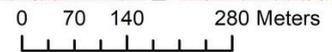


Figura 3.3: tipica copertura di suoli argillosi visibile lungo un taglio stradale in Loc. Santa Barbara



Legend

1:10.000



- b2 - Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE
- BGD2 - Subunità di Semestene (BASALTI DEL LOGUDORO). Hawaiiiti, porfiriche per fenocristalli di Ol e Cpx, Anl, con frequenti noduli peridotitici; in colate. (2,2 ± 0,1 Ma: Beccaluva et alii, 1981). Basaniti, porfiriche per fenocristalli. PLEISTOCENE.
- RESa - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (Turritellidi), ostreidi ed echinidi. BURDIGALIANO SUP.

Figura 3.4: stralcio geologico del sito in studio

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le coperture basaltiche hanno esercitato ed esercitano funzioni protettive nei confronti dei sedimenti più teneri miocenici che le sopportano. Ne conseguono i vasti rilievi tabulati in Sardegna, tra cui l'altopiano di Campeda, insieme a quello della Planargia, è costituito da un vasto insieme di plateaux basaltici, la cui superficie è molto uniforme, con numerose depressioni chiuse con grossi problemi di drenaggio.

Le lave per la loro composizione mineralogico-petrografica, costituiscono quindi un espandimento tabulare molto più resistente agli agenti atmosferici delle rocce sedimentarie sottostanti che subiscono un'erosione differenziata con arretramenti molto lenti del fronte della colata per scalzamento della base.

Il continuo orlo di scarpata dell'altopiano basaltico evidenzia la verticalità dei versanti sui quali si accumulano i detriti di falda e i depositi di crollo conseguenti al progressivo arretramento del bordo dello stesso.

Il settore in studio si colloca al margine settentrionale del plateau basaltico, dove l'erosione lo ha smantellato creando una cornice particolarmente acclive, che si rastrema verso valle con i sottostanti livelli miocenici.

Nelle parti più ripide delle cornici basaltiche che costeggiano i sedimenti miocenici si notano frequenti fenomeni di crollo che portano al franamento dei blocchi rocciosi lungo i versanti e alla formazione di piccole falde di detrito.

La pianura è costituita dai sedimenti alluvionali di età quaternaria; la morfologia della piana mostra una debole vergenza verso i quadranti nord-occidentali; si presenta come una superficie piana e monotona interrotta sporadicamente da leggere ondulazioni.

5. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

L'esame dei rapporti tra morfologia, paesaggio, clima e substrato permette di individuare le interazioni esistenti tra i caratteri generali delle superfici ed i caratteri propri del suolo. La pedogenesi è nettamente influenzata non solo dai caratteri climatici, biologici e del substrato litologico ma anche dalla morfologia del rilievo, attraverso fattori quali pendenza, esposizione, regime idrologico, erosione, ecc.

Possiamo osservare un panorama pedologico monotono, dove l'unico gruppo pedologico riscontrato nell'area studiata è, secondo lo schema tassonomico della Soil Taxonomy (1994), quello degli Entisuoli, caratterizzati da un debole e modesto sviluppo spesso con profilo A-R, privi di orizzonti pedogenetici o comunque con orizzonti poco evidenti. Localmente il suolo è più profondo e con un profilo tipo A-Bw-R.

L'influenza del substrato sulla natura e le proprietà del suolo è pertanto in questo caso assai rilevante e rappresenta un criterio base nella classificazione per separare i vari Sottordini. A causa della roccia sub affiorante vengono classificati come Lithic Xerortents, con profilo generalmente A-R, talvolta poco profondi, franco argillosi, da permeabili a poco permeabili, parzialmente desaturati.

Poiché l'utilizzazione di questi suoli a pascolo risale fin dal Neolitico, questi hanno subito a tratti una degradazione, per erosione, molto intensa. L'interesse per pascoli è tuttora molto elevato, data la notevole fertilità e di conseguenza l'alto valore nutritivo delle specie che compongono il cotico.

L'uso agropastorale necessita di una profonda razionalizzazione, con carichi proporzionali alla produttività.

6. IDROGEOLOGIA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

6.1 CARATTERI CLIMATOLOGICI

Le conoscenze ecologiche di un certo settore non possono prescindere da un'adeguata valutazione dei dati climatici ad esso relativi. Tali dati offrono utili indicazioni sullo studio della vegetazione spontanea, dato che è noto come la flora si distribuisca in funzione delle zone e sottozone climatiche. Tenendo ben presente, ovviamente, che la sua dislocazione e composizione è stata largamente condizionata e rimaneggiata dall'uomo.

Una descrizione di dettaglio degli elementi climatici esula dallo scopo del presente lavoro, ciononostante si è ritenuto opportuno darne una descrizione per consentire una più completa analisi delle ricadute ambientali dell'attività.

L'area si colloca in un contesto geografico caratterizzato da collina interna, con un clima tipicamente mediterraneo. Le stazioni meteorologiche più prossime all'area in studio sono quelle di Bosa e Sindia, per la stazione di Sindia non sono disponibili i dati delle temperature.

L'area esaminata si trova nella Campeda, ad una quota media di circa 490 m s.l.m.

A Bonorva, le estati sono brevi, calde, asciutte e prevalentemente serene e gli inverni sono lunghi, molto freddi, ventosi e parzialmente nuvolosi. Durante l'anno, la temperatura in genere va da 1 °C a 31 °C ed è raramente inferiore a -4 °C o superiore a 36 °C.

6.1.1 Temperatura dell'aria

Il regime termico è caratterizzato da escursioni delle temperature medie relativamente contenute rispetto al resto dell'Isola. Il periodo arido può iniziare ad aprile e terminare a novembre/dicembre. I valori più elevati delle temperature si hanno in luglio ed in agosto con una temperatura media diurna intorno ai 31°C, le temperature minime si hanno da dicembre a febbraio con una media di circa 11 gradi.

Nel complesso le temperature presentano un andamento stagionale caratteristico delle zone mediterranee, con inverni piuttosto miti ed estati piuttosto calde.

6.1.2 Precipitazioni

La stagione più piovosa dura 7,5 mesi, dal 25 settembre al 10 maggio, con una probabilità di oltre 16% che un dato giorno sia piovoso. Il mese con il maggiore numero di giorni piovosi a Bonorva è novembre, con in media 8,6 giorni di almeno 1 millimetro di precipitazioni.

La stagione più asciutta dura 4,5 mesi, dal 10 maggio al 25 settembre. Il mese con il minor numero di giorni piovosi a Bonorva è luglio, con in media 0,7 giorni di almeno 1 millimetro di precipitazioni.

Fra i giorni piovosi, facciamo la differenza fra giorni con solo pioggia, solo neve, o un misto dei due. Il mese con il numero maggiore di giorni di solo pioggia a Bonorva è novembre, con una media di 8,6 giorni. In base a questa categorizzazione, la forma più comune di precipitazioni durante l'anno è solo pioggia, con la massima probabilità di 30% il 20 novembre.

Le caratteristiche già indicate ci consentono di valutare il clima dell'area come temperato, di tipo mediterraneo, con estati asciutte ed inverni moderatamente piovosi.

La stessa situazione, classificata secondo Thornthwaite, ci dà un clima mesotermico, con estati asciutte e bassa eccedenza idrica invernale, (B2).

6.2 IDROGEOLOGIA LOCALE

Il contesto idrogeologico locale è caratterizzato da un sistema di rocce basaltiche con permeabilità medio-bassa per fessurazione, dove le acque meteoriche vengono in minima parte assorbite dal suolo e dalla scarsa vegetazione presente. Si tratta di una circolazione idrica legata a caratteri di tipo strutturale; infatti, la circolazione dell'acqua avviene sia attraverso fessure verticali legate al raffreddamento della massa fusa, sia all'interno di piani di discontinuità determinati dalla sovrapposizione di colate successive.

I basalti poggiano sulla successione marnoso calcarea del miocene, caratterizzata da una permeabilità medio-bassa per porosità e in parte per fessurazione nei suoi litotipi prevalentemente calcarei. In pratico costituiscono la base del sistema idrogeologico basaltico, che contribuisce al mantenimento delle riserve idriche.

La capacità di immagazzinamento dell'acqua da parte dei basalti è quindi funzione dell'intensità della fratturazione e del loro spessore, più è spessa la copertura basaltica maggiore sarà la riserva idrica immagazzinata nell'eventuale acquifero.

6.2.1 Idrografia locale

Il reticolo di drenaggio è fondamentalmente costituito da una serie di vallecole più o meno sviluppate che incidono il plateau con andamento sinuoso, vergenti verso nord ovest. I corsi d'acqua sono direttamente legati agli eventi meteorici, con piccole portate e regime stagionale come il Riu Pedra Dina a nord, il Rio Badde Suerzu a sud, i quali confluiscono verso il corso d'acqua più importante nell'area costituito dal Riu Archenneru, che incide profondamente i basalti, ha andamento meandri forme con direzione nord est-sud ovest. Appare evidente un forte controllo tettonico strutturale sull'impostazione dell'idrografia superficiale.

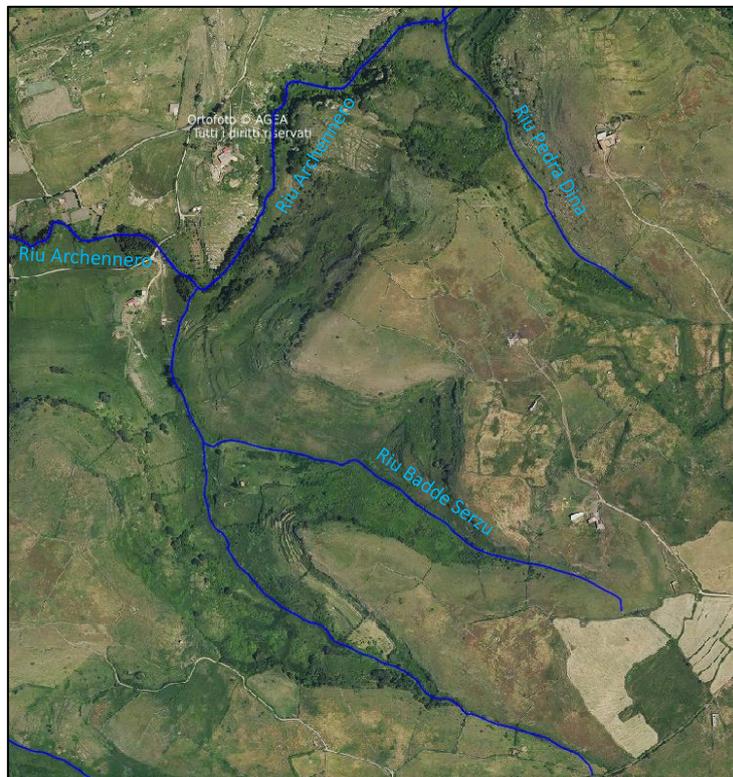


Figura 6.1: principali corsi d'acqua nell'area in studio (estratto da portale cartografico RAS)

6.2.2 *Assetto idrogeologico locale*

L'area della ricerca è interamente formata dagli espandimenti basaltici la cui permeabilità complessiva è data per fessurazione da medio-bassa a bassa; localmente, in corrispondenza di facies fessurate, vescicolari e cavernose, permeabilità per fessurazione e subordinatamente per porosità medio-alta.

Pertanto, questi litotipi consentono una infiltrazione generalmente limitata. Ciò è testimoniato anche dalla scarsa presenza di sorgenti naturali perenni, per lo più dovute a locali fatturazioni dello strato basaltico o a lame d'acque scorrenti tra due strati contigui o lungo i piani di dislocazione più o meno verticali nei litotipi più competenti.

In generale si riscontra la presenza di acquiferi alla base della copertura basaltica, al contatto con le marne basali, le quali costituiscono un settore di accumulo idrico per via della loro bassa permeabilità, ad una profondità compresa tra i 20 m e i 45-50 m, a seconda dello spessore della coltre basaltica e della morfologia del basamento miocenico.

Gli acquiferi più produttivi però si rinvencono sul substrato terziario al di sotto della copertura basaltica, talora anche a profondità di circa 200 m.

7. CONSIDERAZIONI SUL PERICOLO GEOLOGICO

Gli studi effettuati non hanno evidenziato condizioni di pericolosità geologiche per il settore in studio, così come già indicata nella relativa cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico dove non si indicano condizioni di rischio per l'area in oggetto.

7.1 PERICOLO GEOMORFOLOGICO

L'area interessata è caratterizzata da un andamento sub pianeggiante con una acclività modesta di circa il 3% verso nord est.

Dai sopralluoghi effettuati non si sono riscontrati fenomeni franosi, sia inattivi che stabilizzati (naturalmente o artificialmente), ne vengono segnalati nella cartografia PAI del portale geografico regionale aree a pericolo geomorfologico.

In generale il contesto geomorfologico litologico e giaciturale dell'area fanno sì che vi sia una molto bassa propensione al dissesto. Pertanto, non si rilevano criticità per quanto riguarda un eventuale rischio frana in quest'area.

7.2 PERICOLO IDRAULICO

Nel Il settore interessato dal progetto non è contemplato a pericolo idrogeologico nello studio del Piano di Assetto Idrogeologico e nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

Inoltre, il settore oggetto del presente studio è in corrispondenza di un altopiano, con dislivelli di decine di metri tra l'alveo dei corsi e l'area interessata dal presente progetto; pertanto, in condizioni di sicurezza per quanto riguarda il pericolo alluvioni dei corsi d'acque che scorrono nelle valli limitrofe.

8. TETTONICA

I sistemi di faglie che interessano la regione in studio, (direzioni principali NE-SO, NNO-SSE e N-S) sono riconducibili fondamentalmente alle fasi distensive dell'Oligo-Miocene, e del Plio-Quaternario, rispettivamente ricollegabili con l'evoluzione geodinamica del Mediterraneo occidentale e dell'area tirrenica (Cherchi et alii, 1979; Beccaluva et alii, 1983; Cherchi & Montadert, 1984). Queste discontinuità strutturali, avendo guidato la risalita dei magmi dei due cicli vulcanici calcoalcalino e alcalino, hanno anche costituito le direttrici di allineamento e determinato le zone di massima densità dei centri eruttivi.

Lo studio delle foto aeree ha permesso di definire più nel dettaglio le direzioni tettoniche principali. È stata individuata la direzione NE-SO, come rappresentante dei maggiori eventi, mentre quella circa perpendicolare ad essa, la direzione NNO-SSE, ha mostrato episodi con importanza minore. In quest'ultima i movimenti si sono quasi sempre prodotti orizzontalmente, anche se i rigetti hanno delle intensità variabili dai 40 ai 60 metri.

La direzione Nord-Sud pare poco rappresentata in questo settore.

8.1 FAGLIE ATTIVE E CAPACI (ITHACA)

ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) costituisce il Catalogo delle faglie capaci in Italia. Il Catalogo ITHACA colleziona le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano sulla base di una revisione critica della letteratura disponibile.

In particolare, l'area di studio non è meno di 45 km dalle faglie del Campidano di Oristano, pertanto si considerano influenti per quanto riguarda un possibile rischio sismico e non sono state considerate nel presente lavoro.

9. RISPOSTA SISMICA DI BASE

Le NTC 2018 fissa i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e aggiorna le norme tecniche per le costruzioni nelle medesime zone.

L'art. 2 dell'Ordinanza OPCM 3274 del 2003 prevede che siano le Regioni, sulla base dei Criteri generali indicati dallo Stato ad individuare, formare ed aggiornare l'elenco delle zone sismiche.

Le Zone Sismiche sono fissate in numero di quattro, in funzione di quattro valori significati delle accelerazioni sismiche di progetto. Tutta la Sardegna appartiene alla Zona Sismica 4. L'assegnazione a tutto il territorio regionale della Sardegna a questa zona è stata in seguito confermata nell'Ordinanza del 2006 (OPCM 3519).

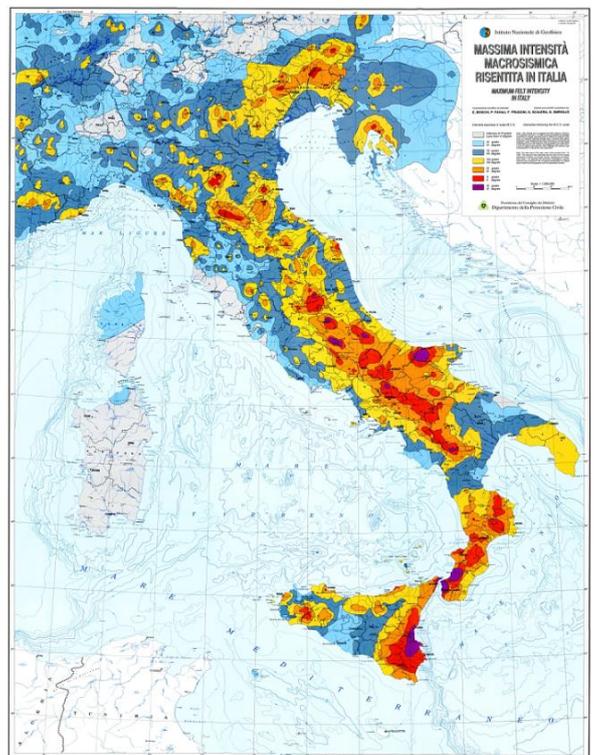
9.1 SISMICITÀ STORICA

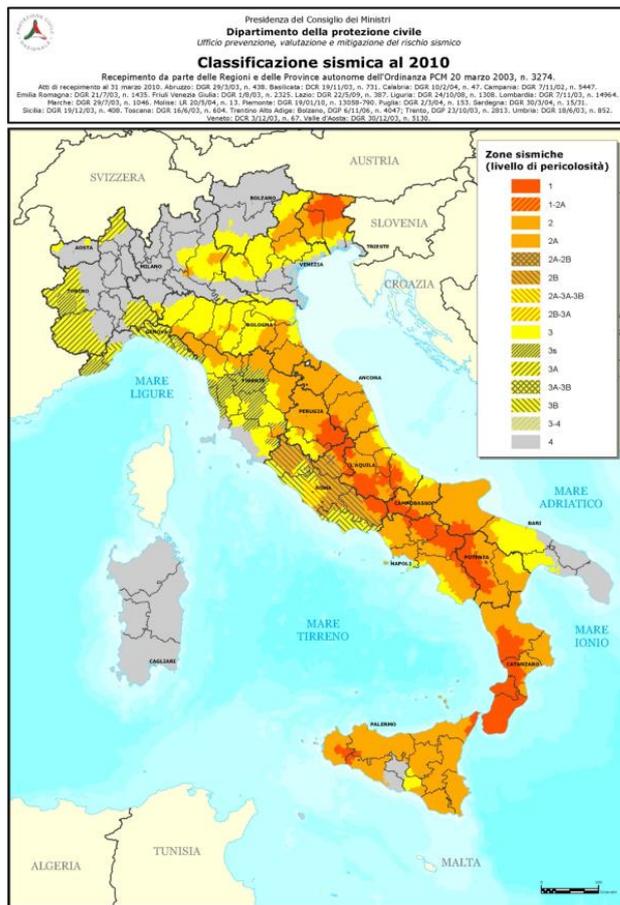
La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

Attualmente la sismicità di una certa porzione di territorio italiano viene definita sulla base di determinati coefficienti organizzati e definiti sulla base di alcune leggi che hanno cercato di dare ordine ad un insieme disordinato e pur vasto di un insieme di elementi che non sempre permettevano di esprimere con esattezza e completezza la sismicità di un certo territorio. Questa è in funzione della distribuzione geografica dei terremoti, frequenza, intensità, energia, natura, e la loro correlazione con gli elementi geologici. L'acquisizione e l'elaborazione di tutti questi fattori rimane assai difficile e complessa; quindi, l'elemento principale su cui ci si basa per definire la sismicità di un territorio è l'attitudine di una regione ad essere soggetta ai terremoti in relazione agli effetti prodotti dalle scosse.

Una ricostruzione su base storica della sismicità di una certa regione presenta dei limiti tangibili, in particolar modo per la Sardegna dove gli eventi tettonici si sono susseguiti su scale di tempo sicuramente molto più dilatate rispetto ad altre zone d'Italia o del Mediterraneo. A ciò si lega la scarsità di fonti documentarie, le quali essendo fondamentalmente legate all'uso della scrittura, non possono essere pertanto testimoniati dai popoli nuragici; pertanto, eventuali eventi anche disastrosi non hanno lasciato testimonianze dirette. La sismologia storica in Sardegna si scontra quindi con difficoltà notevoli, ciononostante recenti studi archeologici sui crolli delle torri nuragiche evidenziano tracce di paleo sismicità lungo alcune principali direttrici tettoniche, a ulteriore testimonianza di come la grossolana definizione della Sardegna come "terra asismica" si scontri con evidenti tracce di una certa vivacità tettonica, passata ma anche recente. In parte testimoniata dalla cartografia prodotta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), uno dei Gruppi





Nazionali di ricerca scientifica di cui si avvale il Servizio Nazionale della Protezione Civile, in una carta prodotta nel 1996, sulla base degli eventi sismici descritti nei cataloghi nazionali parte della Sardegna settentrionale veniva indicata come soggetta a scosse del V grado M.C.S. con tempi di ritorno $T=475$ anni.

Anche la carta della “Massima intensità macrosismica risentita in Italia” del 1995 viene indicata parte della Gallura settentrionale come soggetta ad eventi sismici passati del VI grado M.C.S.

Vediamo come gli studi basati sulla sismicità storica, per quanto parziali e incompleti sulla Sardegna quantomeno individuano nell’Isola settori soggetti a possibili eventi tellurici di una certa consistenza, ma in tempi più recenti sia con l’emanazione dell’O.P.C.M. 3274, e ora con il D.M. 14 gennaio 2008 la Sardegna viene nella sua totalità classificata in zona 4, pur non essendo stato effettuato uno studio specifico sul picco di accelerazione PGA atteso.

In tempi più recenti la disponibilità di fonti storiche di vario tipo permette la ricostruzione di una cronistoria di una serie di eventi sismici.

9.1.1 Tracce di paleosismicità

Sporadici studi sono stati compiuti in tal senso, per lo più concentrati nella Sardegna settentrionale, ritenuta come più “promettente” dal punto di vista di eventuali tracce di una paleosismicità per via della sua relativamente recente attività effusiva Plio-Quaternaria, le ultime della Sardegna, fenomeni diagnostici di una possibile attività tettonica ancora in corso. La ricerca ha riguardato lo studio di tracce in crolli, dislocamenti e torsioni nei caratteristici monumenti megalitici sardi (Nuraghi e Domus de Janas)

Le analisi condotte fino a questo momento hanno evidenziato un certo riscontro tra la distribuzione di danneggiamenti strutturali e trend omogenei nell’orientazione dei crolli di torri nuragiche e la loro disposizione lungo faglie di importanza regionale, correlata ad attività vulcanica Plio-Quaternaria relativamente recente.

Gli studi noti allo scrivente hanno interessato la Sardegna settentrionale e nello specifico parte del Logudoro e del Goceano; pertanto, non possono essere efficacemente rappresentative del territorio regionale, ciononostante è evidente come uno studio sistematico potrebbe rivelare notevoli informazioni dal punto di vista dell’attività tettonica regionale, ancora oggi sottovalutata.

La Sardegna meridionale è una delle zone dell’isola maggiormente soggette a fenomeni sismici; infatti, sono stati registrati diversi terremoti storici:

9.1.2 Sismicità storica della Sardegna centro settentrionale

1616 – Il primo terremoto storico noto in Sardegna, venne avvertito a Cagliari il 4 giugno del 1616, testimoniato da una piccola iscrizione marmorea nel Duomo: “A.D. 4 juni terremotus factus est 1616”.

Recenti studi hanno dimostrato come l'evento abbia interessato un'area piuttosto vasta, che si estendeva nel settore sud-orientale della Sardegna l'evento colpì il litorale di Villasimius, il golfo di Cagliari, le torri di Cala Pira, San Luigi, l'Isola di Serpentara, di Porto Giunco, l'Isola dei Cavoli, di Cala Caterina, di Capo Boi, di Cala Regina fino a Monte Fenugu.

Testimonianze dell'epoca riferiscono veri e propri momenti di panico tra la popolazione dell'hinterland cagliaritano.

Il sisma creò danni a strutture esistenti, infatti recenti studi basati sul ritrovamento di documenti datati tra agosto e dicembre del 1616 testimoniano la necessità di dover procedere al restauro di otto torri difensive, "resosi necessario per le lesioni determinate da una scossa di terremoto avvenuta appunto nel giugno precedente".

Dai dati noti è possibile ipotizzare una scossa piuttosto forte, con una intensità compresa tra il 6° e il 7° grado della scala Mercalli (magnitudo ~ 6.1).

L'ubicazione dell'epicentro rimane incerta, a seconda degli studiosi viene indicato nei pressi di Siliqua nella zona di Acquafredda, più recentemente lo si ipotizza in mare aperto, non distante dalla costa. In questo caso il sisma sarebbe quindi una conseguenza della dinamica del bacino del Tirreno meridionale.

1838 – avvertito il 2 febbraio alle ore 22.30 nei pressi di Sant'Antonio di Gallura, magnitudo 4.83. È il primo terremoto riportato dall'Istituto Nazionale di Geofisica per la Sardegna.

1855 – la letteratura ci tramanda assai pochi dati a proposito di questo evento sismico: sentito leggermente a Sanluri e Gergei, con probabile epicentro nella zona di Sardara, dove vi è una faglia molto estesa (magnitudo ~ 3.5).

1870 – un episodio di cronaca cita una scossa sismica del 5° grado della scala Mercalli (magnitudo ~ 4.8) di due secondi avvertita a Bitti il 4 luglio 1870, creò un po' di panico tra la popolazione. L'epicentro è collocato dai cataloghi sismici presso Ittireddu (Ozieri), in una zona geologicamente complessa e disturbata.

1887 – a Sassari ed Alghero venne avvertito un terremoto la mattina del 23 febbraio 1887, con scosse in senso ondulatorio, in coincidenza di un fenomeno analogo registrato in Liguria. L'epicentro dovrebbe essere in mare ad una distanza di 30-35 Km dalla costa (3°-4° Mercalli, magnitudo ~ 4.2-4.5).

1924 – scosse sismiche vengono registrate nella Sardegna nord-occidentale.

1948 – questo è il primo sisma di cui si dispongono dati strumentali di molte stazioni sismiche italiane ed europee, nonché di notizie macrosismiche più precise e abbondanti.

L'evento interessò la Sardegna settentrionale ed in particolare in alcuni paesi della Gallura venne avvertito un terremoto del 6° grado della scala Mercalli il 13 novembre 1948 alle 9.52. Producesse danni agli edifici situati nei paesi circostanti la zona di Tempio Pausania: particolarmente colpiti risultarono Aggius, Trinità d'Agultu e Badesi. Dal 13 novembre in poi vennero avvertite una ventina di repliche con intensità decrescente. Le più intense furono quelle del 16 alle 22.55, del 21 alle 22.02 e dell'8 dicembre alle 4.35 ed alle 13.15, con intensità valutata sul 4° o al massimo del 5° grado della scala Mercalli. L'epicentro era in mare, a poca distanza dalla costa.

Dall'esame dell'andamento degli effetti nei vari centri interessati dal sisma si riscontra un andamento piuttosto regolare nella propagazione dell'energia, salvo nella zona di Giave e Ittireddu, ove l'irregolarità può essere causata dal passaggio delle onde sismiche dal basamento granitico alla copertura sedimentaria. Questa considerazione spiega come la scossa abbia prodotto effetti del 4° Mercalli a Bono, mentre a Florinas e a Sassari non ha superato il 3°, nonostante siano decisamente più vicine all'epicentro. La natura sedimentaria dei sedimenti su cui fondano queste ultime, pur esaltando le sollecitazioni all'ingresso della coltre sedimentaria, determinano successivamente un notevole assorbimento di energia per trasformazione del lavoro in attrito.

In base alle registrazioni strumentali si è calcolato una magnitudo pari a 5, e confrontando questo dato con la scala Mercalli si ottiene che all'epicentro la scossa è stata del 7°. Tenendo conto della posizione dell'epicentro in mare, a poca distanza dalla costa, si ha una conferma della valutazione per i paesi della Gallura di una intensità massima pari al 6°.

1960 – terremoto di 5° grado della scala Mercalli (magnitudo ~ 4.8) con epicentro nei dintorni di Tempio.

2000 – il 26 Aprile 2000 alle 15.30 vengono percepite delle scosse sismiche nella Sardegna nord occidentale. Si tratta di due scosse in mare aperto con epicentro al largo di Posada, 20 miglia a est, di magnitudo 4.0 e 4.5.

2004 – tra il 12 e il 18 dicembre 2004, una sequenza sismica di moderata energia (con massima magnitudo pari a 4.5) ha interessato un'area posta al largo della costa nord-orientale sarda, di fronte ai comuni di Siniscola, San Teodoro e Olbia.

2009 – il 5 febbraio 2009 è stata avvertita una scossa sismica dalla popolazione sulla costa nord occidentale della Sardegna. L'epicentro è stato localizzato nel Mar Tirreno centrale, circa a 50 km ad Ovest rispetto al comune di Olbia.

Dalle verifiche effettuate dalla Sala Situazione Italia del Dipartimento della Protezione Civile non risultano danni a persone o cose.

Secondo i rilievi l'evento sismico è stato registrato alle ore 16.02, con una magnitudo di 4.3 e si colloca ad una profondità di circa 30 km.

2010 – il 10 novembre 2010 è stata avvertita una scossa di terremoto di magnitudo 4.1 nelle città di Sassari e Porto Torres intorno alle 19. L'epicentro è stato localizzato a circa 200 chilometri dalla costa, fra Porto Torres e la Francia occidentale.

La scossa è stata segnalata dal "Bureau central sismologique francais" ma non dall'Istituto nazionale di geofisica, essendo avvenuta in acque territoriali francesi. Secondo l'istituto il sisma si è verificato alle 19.23 al largo in mare a sud est di Tolone. L'onda sismica ha poi raggiunto anche la costa nord della Sardegna, facendosi sentire in particolare a Sassari e Porto Torres dove, a parte l'allarme della popolazione, non ha avuto nessuna ripercussione su persone o cose.

2011 - alle 19,21 del 7 luglio del 2011, a 100 chilometri a ovest di Ajaccio si era verificato un terremoto di magnitudo 5,3 che è stato avvertito anche nella Sardegna settentrionale. Non sono stati segnalati problemi alle persone o alle cose.

2012 - Un terremoto di magnitudo 4,6 è stato registrato alle ore 04,37 italiane del 4 marzo 2012, in mare, al largo della costa occidentale della Corsica a 88 chilometri al largo di Ajaccio. Il terremoto è stato rilevato a una profondità di due chilometri ed è stato avvertito distintamente anche in Sardegna.

Al centralino dei vigili del fuoco di Sassari è arrivata qualche telefonata che chiedeva informazioni circa il terremoto. Telefonate di persone curiose più che preoccupate che chiamavano da Alghero. A Sassari città e in altri centri della regione, invece, nessuno si è accorto del sisma, o quantomeno, nessuno si è preoccupato tanto da fare telefonate ai vigili del fuoco.

Le verifiche effettuate dalla sala situazione Italia del Dipartimento della Protezione civile hanno confermato che non ci sono stati danni. La scossa è stata avvertita anche in Corsica e a Marsiglia e nel sud della Francia.

Allo stato attuale per lo studio della sismicità storica ci si avvale anche dei seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) \geq 5 o con magnitudo (M_w) \geq 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.

- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall’anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all’interno dei confini dello stato.

In Figura è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna e altri noti da studi storici locali, riassunti dallo scrivente in fig. 9.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l’area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo due eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ (1924 e 1948). In occasione dell’evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della Sardegna Nord-Occidentale. I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di $M_w < 5$ e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell’area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (Fig. 3/A) e dal database DBMI15 (Fig. 3/B), dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

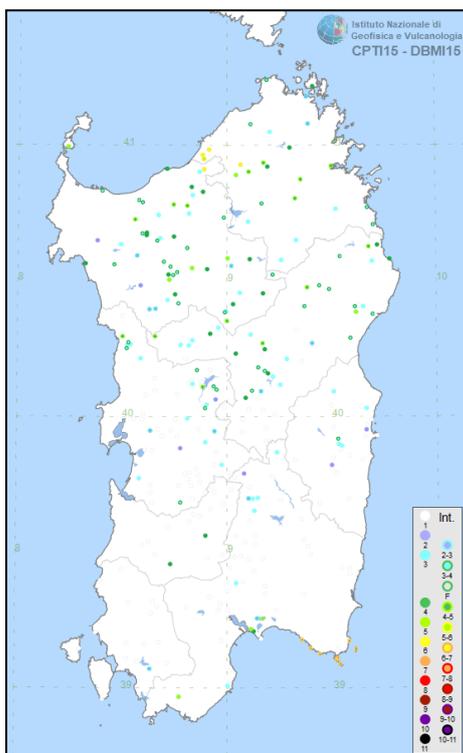


Figura 9.1 - epicentri da catalogo INGV

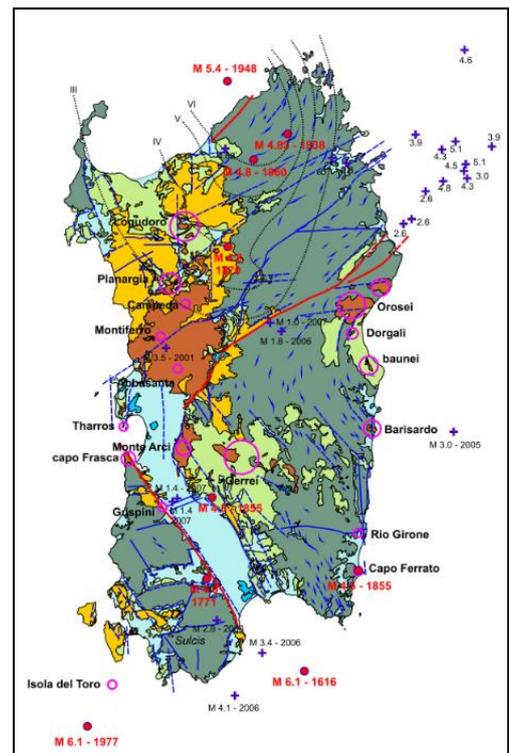


Figura 9.2 – principali epicentri su schema strutturale

9.2 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall'INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che la regione interessata dal progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

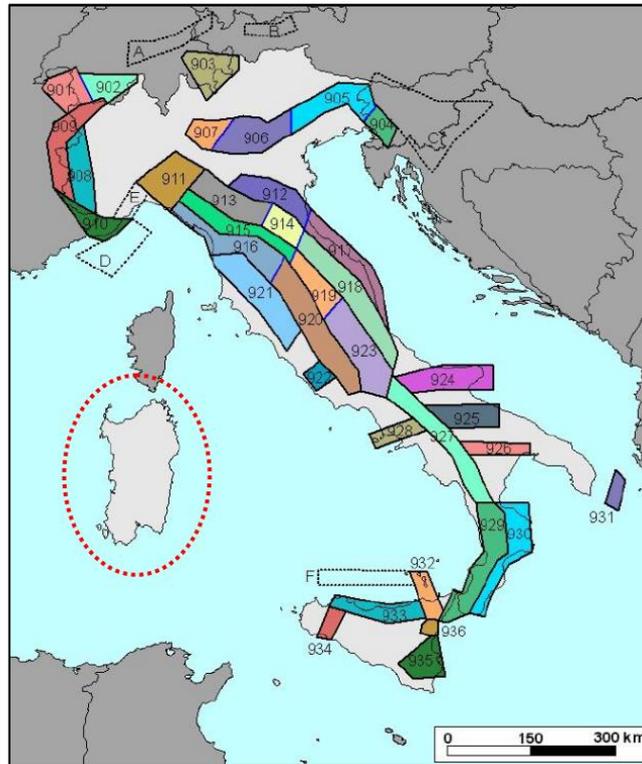


Figura 9.3: Mappa della Zonizzazione Sismogenetica ZS9 dell'Italia

10. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) già con il D.M. 14/01/2008, recentemente sostituito dal DM del 17/01/2018, si introduceva il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La “pericolosità sismica di base”, nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC 2018 suddivide l’intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell’azione sismica di progetto:

- a_g accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in $g/10$);
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell’opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (a_g) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l’opera.

In particolare, la classificazione sismica del territorio nazionale è articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

La Sardegna è classificata come categoria 4.

I valori convenzionali di a_g espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

Tabella 10.1: Valori massimi di a_g attesi per zona sismica

Zona	Valore di a_g
1	0.35 g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

10.1 RISULTATI DELLA INDAGINE SISMICA MASW

L'analisi del profilo sismico per il calcolo della Vs equivalente è stata effettuata utilizzando un modello composto da 9 sismostrati come di seguito rappresentati in tabella.

STRATIGRAFIA Vs MASW 1								
Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione	Vs (m/s)	γ^1 (kN/m ³)	R (kPa)	F (Hz)	T (s)
1	1,7	1,7	Basalti	819	23,0	18840	348	0,008
2	3,8	2,1		651	21,7	14140	342	0,013
3	6,3	2,5		781	22,7	17753	488	0,013
4	9,2	2,9	Calcareniti terziarie	1022	24,3	24847	741	0,011
5	12,5	3,3		983	24,1	23668	811	0,013
6	16,2	3,7		859	23,3	19997	795	0,017
7	20,4	4,2		742	22,4	16652	779	0,023
8	25	4,6		821	23,0	18897	944	0,022
9	-	-		1008	24,2	24423	-	-

Tabella 10.2 - risultati indagine sismica MASW

10.2 APPLICABILITÀ DEL METODO SEMPLIFICATO

Le NTC 2018 prescrivono che il metodo semplificato basato sulle categorie di sottosuolo precedentemente descritte, possa essere applicato solo in assenza del fenomeno noto come "inversione delle velocità", ovvero sia quando si verificano contemporaneamente le seguenti 4 condizioni secondo le indicazioni sperimentali "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (ICMS):

1. un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto Vs rig./Vs sof. superiore a 1.5;
2. la differenza tra le Vs dei due terreni è maggiore di 200 m/s;
3. lo spessore dello strato a velocità minore è maggiore di 5 m;
4. la Vs dello strato più rigido è maggiore o uguale a 500 m/s.

Le indagini sismiche MASW hanno sempre riscontrato la presenza di un substrato con velocità delle Vs sempre maggiore di 100 m/s senza riscontrano significativi fenomeni di inversione delle velocità delle VS; pertanto, sulla base dei riscontri ottenuti finora nell'area interessata dal progetto è possibile applicare la procedura semplificata ai sensi delle NTC 2018.

10.3 VS EQUIVALENTE

L'indagine MASW ha individuato la presenza di un substrato rigido superficiale con Vs > 800 m/s entro i primi 30 m di profondità, per poi diminuire rapidamente a 651 m/s; pertanto, la velocità della Vs equivalente è stata calcolata utilizzando le Vs misurate dal piano di campagna fino al substrato rigido con Vs > 800 m/s attribuito al basamento terziario (Vs > 1000 m/s).

Resta sempre in capo al progettista l'utilizzo della categoria di sottosuolo di riferimento da utilizzare in funzione delle scelte progettuali.

¹ Keceli (2012) $\gamma = 4,3 \cdot Vs^{0,25}$

Tabella 10.3: Vs equivalente e categoria di sottosuolo misurata

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO		
MASW	741 m/s	Cat. B

10.4 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_r) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (Pvr) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r).

Il periodo di riferimento dell'opera (V_r) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_n), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (C_u), funzione della Classe d'uso della costruzione.

Pertanto, per l'opera in oggetto in questo studio sono stati assunti i seguenti parametri:

- Vita Nominale (VN) di 50 anni;
- Cautelativamente si è utilizzata la Classe d'uso più gravosa IV;
- Categoria topografica: T1 in corrispondenza aree sub-pianeggianti;

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (Pvr) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato.

La sismicità della regione Sardegna risulta molto bassa, sia i dati storici che quelli strumentali non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base, pertanto, nelle NTC 2018 (cfr. Allegato B, Tabella 2) si ritiene ragionevole assumere per l'intera isola un valore uniforme di accelerazione orizzontale massima al bedrock (a_g).

Il territorio in argomento e tutta la Sardegna, come sopra riportato, è classificato in Zona 4 come zona sismica di riferimento, caratterizzata da un valore a_g dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di superamento al 10% in 50 anni pari a $a_g = 0.05g$.

E' tuttavia importante sottolineare che le suddette valutazioni delle possibilità amplificative sono di tipo monodimensionale e non tengono conto delle caratteristiche morfologiche dei siti, (valli strette, versanti acclivi, creste, cucuzzoli etc.) che possono invece indurre importanti effetti amplificativi, soprattutto a causa dei fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche.

L'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali ed una verticale

A seconda delle diverse categorie di suolo ed in ordine all'amplificazione stratigrafica sono da considerare i seguenti Coefficienti S_s e S_c

Tabella 10.4: componenti orizzontali S_s e C_c per categorie di sottosuolo

Categoria di sottosuolo	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T^*c)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T^*c)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T^*c)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T^*c)^{-0.40}$

I valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico per il calcolo delle azioni sismiche orizzontali secondo le Norme tecniche per le costruzioni sono quelli di seguito indicati:

Tabella 10.5: valori caratteristici dello spettro di risposta

Categoria di sottosuolo	S	T _B	T _C	T _D
A B C D E	1.00	0.05	0.15	1.00

dove S è il fattore amplificativo e T_B, T_C e T_D sono i tempi (durate) relativi ai vari tratti dello spettro di risposta corrispondente a ciascuna categoria di profilo stratigrafico.

La normativa sismica vigente evidenzia, per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_{sh} all'interno delle coperture.

I valori dei parametri che definiscono la forma dello spettro di risposta al sito dovrebbero derivare da accurate indagini di risposta sismica locale: in mancanza di tali studi nelle Norme tecniche per le costruzioni si definiscono per questo aspetto cinque indicate con le lettere A, B, C, D, E (non sono più contemplate le S1 ed S2), categorie di suolo di fondazione a diversa rigidità sismica caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti.

I terreni presenti nell'area investigata rientrano nella Categoria di sottosuolo "B".

10.4.1 Parametrizzazione sismica e Azione sismica

Le NTC 2018 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si stabiliscono in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g su roccia (suolo tipo A) e del corrispondente spettro di risposta elastico.

Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una probabilità PVR di essere superato in un periodo di riferimento VR (ad esempio molti codici considerano la probabilità del 10% in 50 anni come riferimento per il progetto).

L'azione sismica, per il sito di edificazione e per la tipologia di costruzione definita (vita nominale, coefficiente d'uso), deve essere valutata relativamente allo Stato Limite da considerare.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate in tabella:

Tabella 10.6: PVR per i diversi stati limite

Stati limite	PVR	
	Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr	
Stati limite di esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Fissata la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR per ciascun Stato Limite considerato, va determinato il periodo di ritorno dell'evento sismico da considerare.

A tal fine si utilizza la seguente formula e la relativa tabella:

$$TR = -VR / \ln(1-PVR) = -C, VR / \ln(1-PVR)$$

A seconda dei diversi stati limite si ottengono i seguenti tempi di ritorno TR in funzione del tipo di costruzione e classe d'uso. Secondo quanto indicato dal progettista vengono indicati: Vita nominale > 50 anni (fabbricato di tipo 2) e di Classe IV (opere strategiche).

Tabella 10.7: tempi di ritorno per opere di classe IV

Stati limite	Tempi di ritorno T _R (anni)	
SLE	SLO	60
	SLD	100
SLU	SLV	949
	SLC	1950

In corrispondenza dei diversi stati limite si riportano di seguito i valori dei parametri:

Tabella 10.8: parametri di pericolosità sismica

		a _g (g)	F ₀	TC* (sec)
SLE	SLO	0.254	2.69	0.301
	SLD	0.313	2.73	0.307
SLU	SLV	0.599	2.98	0.370
	SLC	0.707	3.06	0.393

Nell'area interessata dal progetto si riscontra la presenza di una sottile copertura alluvionale o ignimbratica ricoprente un substrato roccioso da mediamente a piuttosto massivo della Formazione del Cixerri, tendente a diventare sempre più massivo e compatto in profondità.

Vista la tipologia del substrato, può essere omessa la verifica alla liquefazione dei terreni.

Per quanto attiene all'amplificazione determinata dalle condizioni morfologiche del sito considerato che:

- L'area in studio è sub-pianeggiante e caratterizzati da una blanda acclività, generalmente contenuta entro 3°;
- Le fondazioni in progetto poggeranno su di un substrato lapideo basaltico piuttosto fratturato;
- L'andamento delle Vs misurate indica che la rigidità del substrato cresce più o meno costantemente al crescere della profondità;
- Le condizioni stratigrafiche e morfologiche consentono l'utilizzo del metodo semplificato;
- La categoria di sottosuolo dell'area può essere indicata in via preliminare come "B".

La normativa in queste condizioni prevede che debba essere considerato un possibile effetto d'amplificazione dell'onda sismica, anche se contenuto, ma visto l'assetto topografico si ritiene che la morfologia possa attuare dei limitati fenomeni di d'amplificazione topografica di categoria "T1": S_T=1,0.

Tabella 10.9: parametri sismici di progetto

		S	TB	TC	TD	Fv	Cc	Ss
SLE	SLO	1.20	0.141	0.422	1.702	0.580	1.398	1.200
	SLD	1.20	0.143	0.428	1.725	0.652	1.393	1.200
SLU	SLV	1.20	0.166	0.497	1.840	0.983	1.341	1.200
	SLC	1.20	0.174	0.522	1.883	1.099	1.326	1.200

L'azione sismica di progetto tenuto conto dell'effetto morfologico presenterà un'amplificazione limitata rispetto al valore massimo atteso agli stati limite sarà quindi:

- SLO $agT = S * ag * ST = 1,20 * 0,254 * 1,0 = 0,31 \text{ g} = 3,1 \text{ m/s}^2$
- SLD $agT = S * ag * ST = 1,20 * 0,313 * 1,0 = 0,38 \text{ g} = 3,8 \text{ m/s}^2$
- SLV $agT = S * ag * ST = 1,20 * 0,599 * 1,0 = 0,72 \text{ g} = 7,2 \text{ m/s}^2$
- SLC $agT = S * ag * ST = 1,20 * 0,707 * 1,0 = 0,85 \text{ g} = 8,5 \text{ m/s}^2$

Ai sensi della normativa (articolo 3.2.3.3 “Spostamento orizzontale e velocità orizzontale del terreno”) si ottengono i valori massimi dello spostamento (d_g) e della velocità orizzontali (v_g) del suolo, previsti a livello del piano di fondazione attraverso le espressioni:

- SLO $d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_{gT} = 0,025 * 1,20 * 0,422 * 1,702 * 3,1 = 0,07$ cm
- SLD $d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_{gT} = 0,025 * 1,20 * 0,428 * 1,725 * 3,8 = 0,08$ cm
- SLV $d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_{gT} = 0,025 * 1,20 * 0,497 * 1,840 * 7,2 = 0,20$ cm
- SLC $d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_{gT} = 0,025 * 1,20 * 0,522 * 1,883 * 8,5 = 0,25$ cm

- SLC $v_g = 0,16 * S * T_c * a_{gT} = 0,16 * 1,20 * 0,422 * 3,1 = 0,25$ cm/s
- SLC $v_g = 0,16 * S * T_c * a_{gT} = 0,16 * 1,20 * 0,428 * 3,8 = 0,31$ cm/s
- SLC $v_g = 0,16 * S * T_c * a_{gT} = 0,16 * 1,20 * 0,497 * 7,2 = 0,69$ cm/s
- SLC $v_g = 0,16 * S * T_c * a_{gT} = 0,16 * 1,20 * 0,522 * 8,5 = 0,85$ cm/s

In prospettiva sismica, l’area a livello di superficie della area della cantina e dell’agriturismo sono da ritenersi in osservanza dell’Ordinanza P.C.M. N.3274 e del DM 14/09/05, ad incremento sismico molto basso.

11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Data la semplicità della stratigrafia riscontrata durante il rilevamento e dato il modesto impatto nel terreno di fondazione delle strutture in progetto, si è ritenuto opportuno procedere all’acquisizione delle caratteristiche geotecniche dell’area interessata dai lavori di costruzione dell’impianto fotovoltaico mediante l’esecuzione di indagini geotecniche in situ con penetrometriche dinamiche continue (DIN), dalle quali sono state estrapolate i parametri geotecnici fondamentali.

Per l’individuazione univoca dei punti di esecuzione delle prove e dei pozzetti è stato utilizzato un GPS da carteggio, modello Garmin 62S, con un errore medio delle misure compreso fra 1-2 metri.



Figura 11.1: ubicazione delle indagini effettuate

11.1 PROVE PENETROMETRICHE

L’esecuzione delle due prove penetrometriche ha indicato la presenza di un suolo sottile costituito da argille molto poco addensate, con una profondità massima riscontrata di 0.5 m, con un numero medio di $N_{10} = 3$ colpi per la prova n° 1 e $N_{10} = 15$ colpi per la prova n° 2. Più in profondità l’ N_{10} misurato saliva a 50 colpi, indicando un punto di rifiuto all’infissione della punta su di un substrato roccioso. Si rimanda allo specifico allegato per eventuali approfondimenti sull’esecuzione della prova.

11.1.1 Sintesi parametri geotecnici da prova penetrometrica

DIN 1

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0,6	2,0	Coesivo	1,33	1,83	0	0,13	9,18	20,0	0	0

DIN 2

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0,3	11,0	Coesivo	1,5	1,93	0	0,74	50,47	110,0	0	0

Tabella 11.1 – Sintesi parametri geotecnici da prove penetrometriche

11.1.2 Coordinate punti di esecuzione prove penetrometriche

COORDINATE UTM IN FORMATO WGS84 FUSO 32S			
Sito in studio	Coordinate Est (m)	Coordinate Nord (m)	Quota (m s.l.m.)
DIN 1	477 957	4 473 387	485
DIN 2	477 364	4 473 906	514

Tabella 11.2 - Ubicazione prove penetrometriche DIN

11.1.3 Fotografie esecuzione prove penetrometriche



Figura 11.2 – esecuzione prova DIN 1



Figura 11.3 – esecuzione prova DIN 2

11.2 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE MASW

Nell’area interessata dal progetto della cantina è stata eseguita un’indagine sismica con metodologia MASW per la determinazione della stratigrafia sulla base delle Vs misurate per verificare l’applicabilità del metodo semplificato e, nel caso, la categoria del sottosuolo ai sensi delle NTC 2018.

La prova è stata ubicata in modo da poter investigare un settore geologicamente rappresentativo dell’area in studio.

Tabella 11.3 - Ubicazione prova sismica MASW

COORDINATE UTM IN FORMATO WGS84 FUSO 32S			
Sito in studio	Coordinate Est (m)	Coordinate Nord (m)	Quota (m s.l.m.)
MASW 1	477 485	4 473 610	498

11.3 CORRELAZIONI GEOTECNICHE DA INDAGINE SISMICA MASW

In via assolutamente preliminare e puramente indicativa è possibile utilizzare i valori di velocità delle Vs per estrapolare dei parametri geotecnici. Utili in una prima fase di dimensionamento e verifica delle opere².

11.3.1 Correlazione ϕ -Vs

La correlazione per il calcolo dell'angolo di resistenza al taglio direttamente in funzione di Vs, valore normalizzato per la pressione litostatica, è ripresa da Uzielli et al. (2013) e Mayne (2014) e consente di definire il range dei valori di picco:

$$\begin{aligned} \text{limite superiore:} & \quad \phi = 3,9 \cdot Vs^{0,44} \\ \text{limite inferiore:} & \quad \phi = 3,9 \cdot (Vs^{0,44}) - 6,2 \end{aligned}$$

11.3.2 Correlazione Cu-Vs

La correlazione per il calcolo della coesione non drenata (Cu in kPa) può essere calcolata con la formula di Dickenson (1990) valida per argille tenere:

$$Cu = (Vs/23)^{1/0,475}$$

11.3.3 Portanza

La capacità portante dei terreni di fondazione (qult in kPa) in funzione di Vs si può calcolare secondo Keceli (2012)

$$q_{ult} = 0,43 \cdot Vs^{1,25}$$

il carico ammissibile si stima in base ad un fattore di sicurezza Fs applicato nella formula precedente che porta:

$$\begin{aligned} q_{amm} &= 0,123 \cdot Vs^{1,25} && \text{per } Vs < 400 \text{ m/s} \\ q_{amm} &= 0,143 \cdot Vs^{1,25} && 400 \text{ m/s} < Vs < 700 \text{ m/s} \end{aligned}$$

PARAMETRI GEOTECNICI DA Vs MASW 1						
P [m]	Vs [m/s]	ϕ_{min} [°]	ϕ_{max} [°]	Cu kPa	qult [kN/m ²]	qamm [kN/m ²]
1.7	819	68,4	74,6	1847	1884	627
3.8	651	61,3	67,5	1139	1414	470
6.3	781	66,9	73,1	1671	1775	590
9.2	1022	76,1	82,3	2944	2485	826
12.5	983	74,7	80,9	2712	2367	787
16.2	859	70,0	76,2	2042	2000	665
20.4	742	65,3	71,5	1500	1665	554
25	821	68,5	74,7	1856	1890	628
-	1008	75,6	81,8	2859	2442	812

Tabella 11.4 - Parametri geotecnici da indagini sismiche MASW

² Tratto da "Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata" di Roccaforte-Cucinotta – Ed. Dario Flaccovio

11.4 RISULTATI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE

Mediante l'analisi dei primi arrivi delle onde rifratte prodotte durante le energizzazioni eseguite per le MASW è possibile elaborare una sismostratigrafia mediante onde Vp, con la semplificazione di una stratigrafia piano parallela.

In questo modo si sono potuti ottenere ulteriori parametri utili per la caratterizzazione del sito in studio³:

11.4.1 Sismostratigrafia da rifrazione

SISMOSTRATIGRAFIA MASW 1		
Suolo	Vp = 476 m/s	0.0 – 0.6 m
Basalti fratturati	Vp = 1163 m/s	0.6 m – 4.4 m
Calcareni terziarie	Vp = 2703 m/s	4.4 m – 15.2 m

Tabella 11.5 – sismostratigrafia da rifrazione

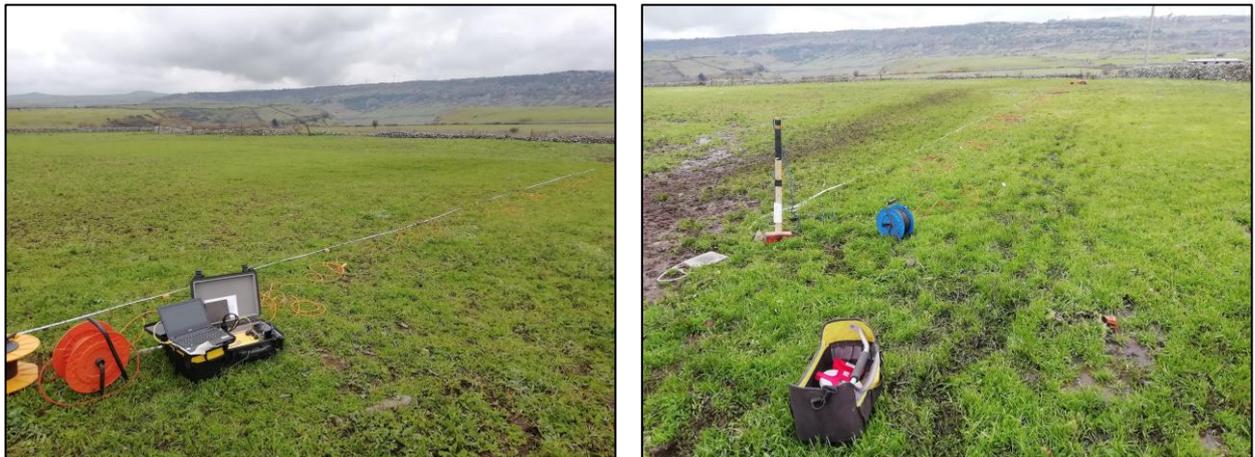


Figura 11.4 – esecuzione indagine sismica MASW

11.5 SCAVABILITÀ DEL SUBSTRATO

Attraverso l'utilizzo di tabelle note in letteratura, che correlano la velocità delle onde P e il grado di rippabilità e scavabilità delle formazioni si può determinare il grado di approfondimento senza l'ausilio di esplosivo. Esiste una significativa correlazione tra la velocità con cui le onde sismiche attraversano la roccia e l'efficienza di scavo delle macchine utilizzate.

La figura mostra un diagramma per determinare l'efficienza di scavo (volume scavato in m³/20 min) in relazione alla velocità delle onde di compressione (Shimoto et alii, 1970, da OYO Corporation 1978). La comparazione mostra che l'efficienza di scavo di una pala o del ripper diminuisce in funzione dell'aumento di velocità delle onde di compressione.

$$^3 V_x = m_x = d_x - d_0 / t_x - t_0$$

V_x = velocità dell'orizzonte sismico; m = coefficiente angolare curva di interpolazione lineare della dromocrona di riferimento; d₀ e d_x distanze geofoniche iniziale e finale di registrazione della dromocrona di riferimento; t₀ e t_x tempi di ritardo iniziale e finale della dromocrona di riferimento.

$$H_x = d_x / 2 \cdot (V_x - V_0 / V_x + V_0)^{0.5}$$

H_x = spessore dell'orizzonte sismico; d_x distanza geofonica al punto di "ginocchio"; V_x e V₀ velocità del primo e secondo orizzonte sismico.

Con l'utilizzo di un escavatore con pala a cucchiaio la scavabilità dei terreni è possibile, indipendentemente dalla formazione per quei sismo-strati che hanno velocità massime di 900 m/sec. Al di sopra di questa velocità e per valori massimi di 1.400 m/sec si deve far utilizzo di martelloni pneumatici.

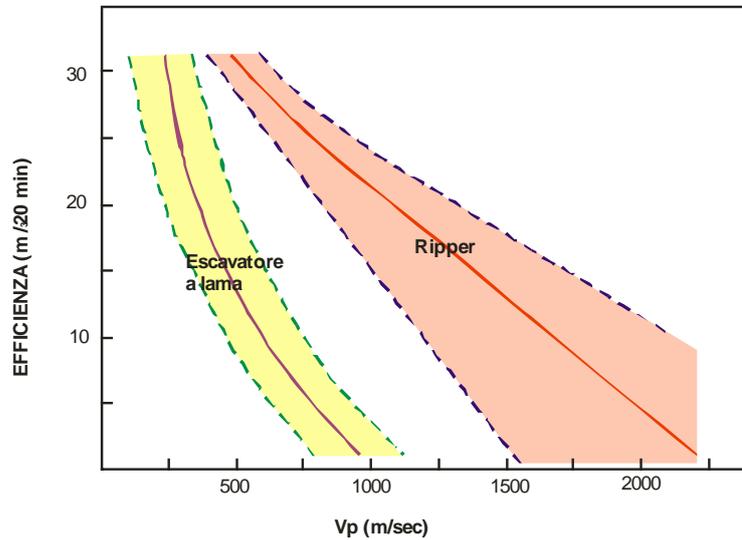


Figura 11.5 – grafico sui limiti di scavabilità dei terreni da onde Vp

12. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Sulla base della stratigrafia locale generale nota da dati di letteratura supportata dall'esecuzione di specifiche indagini, hanno permesso la definizione del modello geologico di dettaglio locale atto a definire il volume significativo di terreno influenzato dalle fondazioni delle opere in progetto.

I valori geotecnici indicati sono basati sull'osservazione dell'andamento delle indagini eseguite in un determinato sito, e precedentemente descritte.

I valori geotecnici di riferimento indicati in stratigrafia sono stati mediati dallo scrivente, eventualmente ridotti rispetto a quanto ottenuto dalle correlazioni empiriche precedentemente illustrate al fine di poter ottenere un modello geotecnico veritiero, ma ragionevolmente cautelativo del sito studiato.

12.1 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

La definizione dell'assetto geologico-stratigrafico locale di dettaglio si basa sull'esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche continue nell'area interessata dal progetto e da una indagine geofisica con metodologia sismica MASW, le quali hanno consentito la verifica diretta della stratigrafia di dettaglio fino alla profondità di circa 0.5 m, e la stratigrafia di minor dettaglio con metodi sismici fino alla profondità di oltre 30 m.

In particolare, la prova penetrometrica ha individuato un substrato costituito da un livello superficiale di sottili suoli argillosi molto poco addensati fino alla profondità massima di 0.5 m, per poi incontrare un livello lapideo costituito da basalti più o meno fratturati nei livelli più superficiali, per poi diventare piuttosto competenti in profondità. Lo spessore della copertura basaltica non è comunque facilmente determinabile, perché la stratigrafia sismica non ha evidenziato particolari variazioni dello stato di densità delle rocce basali terziarie rispetto alla parte basale dei basalti. Ad ogni modo risulta evidente un substrato roccioso nel complesso piuttosto massivo e competente.

Le indagini eseguite e la stratigrafia locale generale nota da dati di letteratura, hanno permesso la definizione del modello geologico di dettaglio locale atto a definire il volume significativo di terreno influenzato dalle fondazioni della struttura in progetto.

Facendo riferimento al punto mediano dell'area in studio il modello geologico di riferimento può così essere definito:

1. 0.0 – ~0.4 m: terreno vegetale molto poco addensato. OLOCENE
2. 0.4 – 6.0 m: basalti. PLEISTOCENE
3. 6.0 – ~30 m: calcareniti più o meno massive. OLIGOCENE – MIOCENE INF.-MEDIO

12.2 STRATIGRAFIA SCHEMATICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Nelle tabelle sottostanti viene rappresentata la ricostruzione stratigrafica con parametrizzazione geotecnica dei siti interessati dalle opere in progetto.

I parametri rappresentati nelle tabelle sono:

- P: profondità strato (tetto-letto)
- γ : Peso unità di volume (kg/m^3);
- ϕ : Angolo di attrito ($^\circ$);
- C: Coesione (kg/m^3);
- C_u : Coesione non drenata (kg/m^3);
- E_d : Modulo Edometrico (kg/m^3);
- E_y : Modulo Elastico (kg/m^3);

12.3 STRATIGRAFIA AREA DI SEDIME TIPICA

L'analisi combinata delle prove penetrometriche, della sismica ad onde di superficie MASW e a rifrazione ha permesso, tramite specifiche correlazioni empiriche, di poter fornire una stratigrafia di dettaglio e una parametrizzazione geotecnica di massima del substrato.

Pertanto, sulla base di quanto premesso, la litostratigrafia e la relativa parametrizzazione geotecnica ha il solo scopo di verificare che il terreno tipo di sedime che ospiterà gli aerogeneratori possa essere effettivamente in grado di poter sostenere i carichi indotti dalle fondazioni, senza cedimenti tali da poter comprometterne la stabilità.

In caso di progettazione definitiva si provvederà a svolgere una esaustiva campagna di indagini per ogni sito in modo da poter procedere ad una puntuale ed accurata caratterizzazione stratigrafica e geotecnica.

I parametri geotecnici indicati nella tabella sottostante, sono stati ottenuti utilizzando i valori caratteristici, in alcuni casi ulteriormente ridotti in via cautelativa dallo scrivente, in modo da poter essere ragionevolmente certi che i valori utilizzati nella progettazione strutturale siano ampiamente verificati.

Per il livello alluvionale si è cautelativamente posto coesione nulla, trattando le terre come esclusivamente incoerenti.

Per il substrato lapideo si sono utilizzati dei valori notevolmente ridotti rispetto a quanto ottenute con le formule empiriche precedentemente illustrate.

STRATO	PARAMETRI		VALORI CARATTERISTICI
Suolo argilloso da 0 a 0.5 m	peso di volume	γ	15 kN/mc
	Coesione	c'	20 kPa
	Angolo attrito	ϕ'	0.0°
	Coesione non drenata	C_u	40 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	2 MPa
	Modulo Elastico	E_y	5 MPa
Basalti da 0.5 m a 6 m	peso di volume	γ	22.5 kN/mc
	Coesione	c'	400 kPa
	Angolo attrito	ϕ'	60°
	Coesione non drenata	C_u	800 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	1000 MPa
	Modulo Elastico	E_y	1250 Mpa
Calcareniti da 6 m a ~30 m	peso di volume	γ	23.5 kN/mc
	Coesione	c'	600 kPa
	Angolo attrito	j'	60°
	Coesione non drenata	C_u	1200 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	1500 MPa
	Modulo Elastico	E_y	2000 Mpa

Tabella 12.1 – Stratigrafia geologica e geotecnica di massima

12.4 PIANO DI INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Come riportato nelle premesse di questa relazione preliminare, i caratteri geolitologici, geotecnici e la configurazione stratigrafica del sito d'intervento, che hanno rivestito forma preliminare ed il più possibile verosimile in questa fase, sulla base delle fonti a disposizione e delle indagini eseguite, saranno ulteriormente definiti, e con maggior dettaglio, a seguito dei risultati di indagini geognostiche e geotecnico, da eseguirsi in sito ed in laboratorio.

La tipologia di lavorazioni e di opere da realizzarsi, che in termini di carichi trasmessi al terreno possono essere correlati essenzialmente alla realizzazione dei pali di fondazione dei tralicci dei pannelli fotovoltaici e delle opere infrastrutturali connesse (cabine elettriche di trasformazione, distribuzione, ecc.), indicano che la profondità da indagare in maniera diretta attraverso la realizzazione di sondaggi geognostici da ubicare uniformemente distribuiti nell'area interessata dalla realizzazione dell'agrivoltaico, possa essere estesa fino ad almeno 2 m di profondità dal piano di campagna, con prelievo di campioni negli orizzonti attraversati più significativi, da esaminare in laboratorio.

Si presume che le fondazioni andranno a poggiare su di un substrato costituito da rocce basaltiche, la caratterizzazione geotecnica si basa pertanto su prove adatte a materiali lapidei. I suoli sono troppo sottili per poter costituire un idoneo substrato di fondazione.

Nel caso in cui il sondaggio intercetti una falda superficiale, si provvederà ad allestire un piezometro per il monitoraggio della stessa al fine di definire eventuali interazioni con la fondazione stessa.

Risulta necessario, a supporto della predisposizione della relazione sismica (definizione della categoria del sottosuolo secondo le NTC 2018), oltre che per una più completa caratterizzazione e distinzione geostratigrafica del sottosuolo, la realizzazione una campagna di indagini sismiche a onde di superficie per caratterizzare con adeguato dettaglio la risposta sismica del sito.

Al fine di definire l'andamento stratigrafico con adeguato dettaglio dell'intera area di sedime, nonché avere una più efficace correlazione delle indagini geognostiche, verranno eseguite delle sezioni sismiche in modalità tomografica ed estendere così il valore puntuale della perforazione a carotaggio.

Per il corretto dimensionamento degli impianti di messa a terra si provvederà ad eseguire delle indagini geoelettriche con configurazione Wenner, atte a poter misurare la resistività del terreno. Per quanto riguarda la misura della resistività dei suoli si propone che vengano eseguite sempre con la configurazione di Wenner ma in modalità tomografica. In questo modo vengono eseguite in automatico 57 misure, le quali sono poi elaborate con specifico software in grado di restituire non solo la resistività del suolo ma anche una stratigrafia 2D, utili nella definizione dell'assetto geologico di dettaglio dei siti d'interesse. Se alle misure di resistività vengono abbinate anche delle misure di caricabilità (Polarizzazione Indotta) si possono avere anche ulteriori informazioni sull'assetto idrogeologico locale. La profondità d'indagine presunta per questo tipo di indagine è di circa 10 m per una lunghezza dello stendimento geofisico di circa 60 m.

Per il raggiungimento degli obiettivi sopra esposti, si prevede, pertanto, di impostare il seguente piano di indagini:

- Realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo (diam. 101 mm): realizzazione di perforazioni con profondità minima di 2 m dal piano di campagna;
- Eventuali prove di laboratorio su terre:
 - esecuzione di prove di taglio diretto con scatola di Casagrande;
 - prove edometriche su campioni coesivi;
 - determinazione dei limiti di Atterberg con analisi granulometrica;
- Prove di laboratorio su roccia:
 - esecuzione di prove di carico concentrato Point Load Test;
 - esecuzione determinazione di massa volumica;
- Prove in sito:

- esecuzione di indagini sismiche a rifrazione con modalità tomografica;
- esecuzione di indagini geoelettriche per la definizione della resistività dei suoli.

Tale lista costituisce un elenco indicativo e non esaustivo, ci si riserva di aggiornare le indagini proposte sulla base delle risultanze che si avranno dalle perforazioni a carotaggio.

DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE PREVISTE

<p>IMPIANTO DI CANTIERE PER INDAGINI GEOGNOSTICHE, compreso l'approntamento in deposito delle attrezzature, degli accessori, dei ricambi e dei consumi; compreso il carico su automezzo, lo scarico in cantiere, il montaggio, lo smontaggio a lavori ultimati, il carico su automezzo e lo scarico in deposito; compreso il trasporto dal deposito al cantiere di lavoro, compreso il ritorno a vuoto; o trasporto delle stesse da cantiere a deposito, compresa l'andata a vuoto; compreso il trasferimento del personale</p>
<p>PERFORAZIONE ad andamento verticale o con inclinazione fino ad un massimo di 15° dalla verticale, eseguita a rotazione a carotaggio continuo, con carotieri di diametro da 85 mm fino a 101 mm, in terreno a granulometria fine quali argille, limi sabbiosi e rocce tenere; compreso l'onere dell'estrazione delle carote e la loro conservazione in apposite cassette catalogatrici queste escluse e compensate a parte; compresa la tubazione di rivestimento del foro; per le seguenti profondità, misurate a partire dal piano campagna, comprese tra: m 0,00 e m 15,00 massimo</p>
<p>PERFORAZIONI, sia a carotaggio continuo sia a distruzione di nucleo, eseguite in rocce dure che richiedono l'impiego di corone diamantate; per profondità fino a m 40,00 e per i seguenti diametri della corona diametro fino a mm 145</p>
<p>PRELIEVO DI CAMPIONE INDISTURBATO, compatibilmente con la natura dei terreni, nel corso di sondaggi, con l'impiego di campionatore a parete sottile spinto a pressione; compreso l'onere della fornitura di fustella zincata, della paraffinatura per eseguire la sigillatura e del trasporto al laboratorio di analisi indicato dal committente; per le profondità seguenti dal piano di campagna: da m 0,00 a m 15,00</p>
<p>PROVA SISMICA ATTIVA TIPO MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) per la determinazione di curve di dispersione delle onde superficiali di tipo Rayleigh generate con idonei sistemi, e registrate con 24 geofoni verticali aventi periodo di oscillazione 4.5 Hz disposti secondo geometria lineare con "offset" non inferiore a 2 volte il G-spacing e collegati ad un sismografo multicanale a memoria incrementale Compreso l'analisi dei dati nel dominio FK (frequency-wave number) per la determinazione di curve di dispersione delle onde superficiali di tipo Rayleigh redatti in grafici Vfase – Hz, l'inversione del modello di rigidità del sottosuolo fino a raggiungimento del miglior "fitting" tra i dati sperimentali e teorici, la relazione riepilogativa contenente: - le procedure di esecuzione della prova, - grafici di acquisizione (serie temporali), Vfase – Hz, - eventuale restituzione di profili Vs del sottosuolo, - calcolo del valore di Vs,eq ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018. - approntamento e trasporto delle attrezzature e loro installazione c/o ciascuna linea di sondaggio sismico MASW per ogni sondaggio MASW, comprensivo di relazione, grafici e misura del parametro Vs30 Compreso trasporto, installazione e smontaggio attrezzature</p>
<p>PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE eseguito con apparecchiatura elettronica digitale ad alta precisione a 24 canali, stesa dei cavi, undici punti di energizzazione con massa battente, lettura dei primi arrivi, analisi diretta ed inversa delle onde longitudinali mediante software di tomografia sismica in grado di individuare i diversi rifrattori, il calcolo delle velocità apparenti, la definizione dei diversi strati in spessori e velocità, la costruzione di dettaglio delle relative sismosezioni, relazione riepilogativa e quanto altro occorra per dare il lavoro finito.</p>

13. CONCLUSIONI

Lo studio geologico evidenzia come le fondazioni delle strutture atte a sorreggere i pannelli fotovoltaici in progetto si inseriscano in un contesto geologico caratterizzato da affioramenti basaltici del Pleistocene inferiore, con uno spessore presunto che può arrivare a circa 4-6 m, ricoprenti il basamento terziario costituito da una successione calcarenitica.

La stratigrafia litotecnica di riferimento dell'area è stata ottenuta mediante l'esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche continue e di una indagine sismica MASW abbinata ad una rifrazione semplificata ad una sola battuta. L'analisi combinata di queste metodologie di indagine ha permesso di investigare con elevato dettaglio fino a circa 0.5 m, e avere una parametrizzazione geotecnica di massima fino a circa 30 m di profondità mediante l'utilizzo di formule empiriche utilizzando le velocità delle Vs, nonché di avere una indicazione dell'andamento stratigrafico tipico dell'area in esame (anche ai fini della definizione della risposta sismica) fino a circa 30 m di profondità.

L'area in studio è data da un altopiano basaltico sub pianeggiante, con fianchi generalmente piuttosto acclivi in cui si riscontra una sottile copertura alluvionale nei fondivalle e sottili suoli argillosi nell'altopiano che ricoprono i basalti che tendono a diventare sempre più massivi in profondità.

L'analisi del pericolo geologico del sito ha evidenziato un contesto geomorfologico stabile rispetto a fenomeni di dissesto gravitativo, inoltre non si rilevano possibili future alterazioni del deflusso delle acque di scorrimento superficiale.

L'assetto idrogeologico sotterraneo non si ritiene che potrà essere alterato dalla realizzazione delle opere, poiché non si sono avuti riscontri della presenza di acquiferi superficiali che possano essere interessati dai pali di fondazione, ad ogni modo si dovrà avere la massima attenzione affinché eventuali emergenze idriche vengano verificate durante l'esecuzione della campagna di indagini geognostiche.

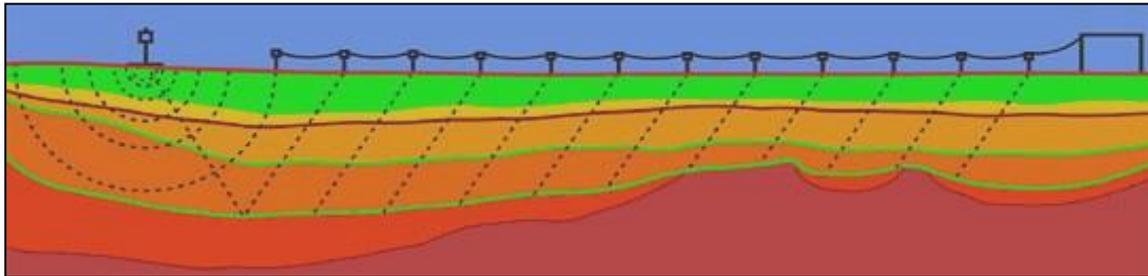
Sulla base di quanto precedentemente esposto, il substrato roccioso destinato ad ospitare le fondazioni dei tralicci atti a sostenere i pannelli fotovoltaici si presenta, nel suo complesso, in grado di poter sostenere i carichi indotti dalla struttura senza deformazioni o cedimenti.

Nel complesso non si riscontrano elementi ostativi per quanto riguarda l'esecuzione del progetto in esame..

ALLEGATO 01 - INDAGINI SISMICHE MASW

L'esecuzione di indagini sismiche ha lo scopo di ottenere informazioni di tipo geotecnico sul comportamento fisico-meccanico dei corpi geologici investigati, attraverso la determinazione dei relativi parametri, ed informazioni di tipo geologico sui caratteri strutturali e stratigrafici del volume del sottosuolo indagato.

Si tratta di uno dei metodi attualmente più utilizzati per l'esplorazione in profondità del sottosuolo e consiste nel creare delle onde artificiali nel terreno (energizzazione) battendo una piastra poggiata a terra con una mazza. Le indagini geognostiche che utilizzano le metodologie sismiche sfruttano le proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle onde sismiche a diversa velocità; questa dipende da molti fattori, quali la natura mineralogica della roccia, il grado di cementazione e di fatturazione, la porosità, il contenuto in acqua o in gas, ecc.



Rappresentazione schematica di una tipica prospezione sismica

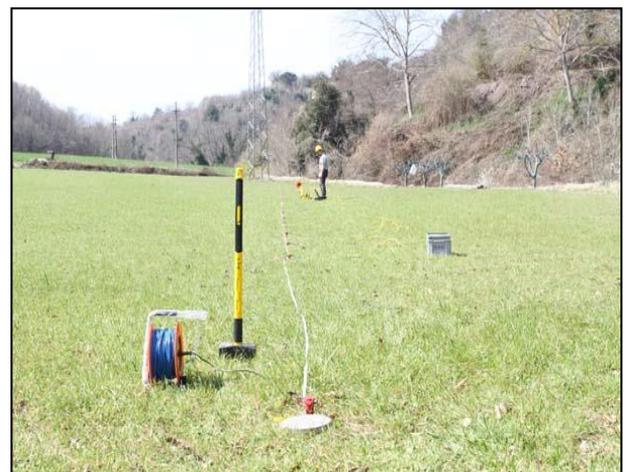
Caratteristiche strumentali

La strumentazione utilizzata è costituita da un Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) con convertitore A/D a 24 bit, numero di canali da 3 a 24, ampio range dinamico 144db, output dei dati in SEG-Y, SEG-2 o ASCII, opzione per test dei geofoni ed accelerometri, lunghezza di registrazione fino a 4 mld di campioni, intervalli di campionamento: 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 ms. L'intero sistema di acquisizione è conforme alle specifiche ASTM D5777-00 (2006) (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation); l'energizzazione del terreno è stata effettuata mediante l'utilizzo di una massa battente (mazza di 10 kg con starter su piattello di battuta).

Per la ricezione delle onde longitudinali (P), durante l'indagine sismica, sono stati usati geofoni verticali a lungo periodo (4.5 Hz).



Sismografo DaqLinkIII



Operazioni di acquisizione

Generalità sulle indagini sismiche mediante onde di superficie

La necessità dettata dalle NTC 2018 di fornire una solida stima della velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo ha dato un forte slancio alla diffusione di tecniche basate sull'analisi della dispersione delle onde di superficie (Rayleigh e Love). La dispersione rappresenta una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. In un mezzo stratificato le varie componenti (lunghezza d'onda, quindi frequenza $\lambda = v/f$ del segnale sismico) si propagano ad una velocità diversa in funzione delle caratteristiche del mezzo. Le componenti a frequenza minore (lunghezza d'onda maggiore) penetrano più in profondità e sono quindi influenzate dagli strati più profondi rispetto a quelle a frequenza maggiore (lunghezza d'onda minore) che risentono delle proprietà fisiche dei livelli superficiali, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Metodologia MASW

La tecnica MASW consente di misurare la velocità delle onde di taglio V_s sfruttando il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato.

La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore.

È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

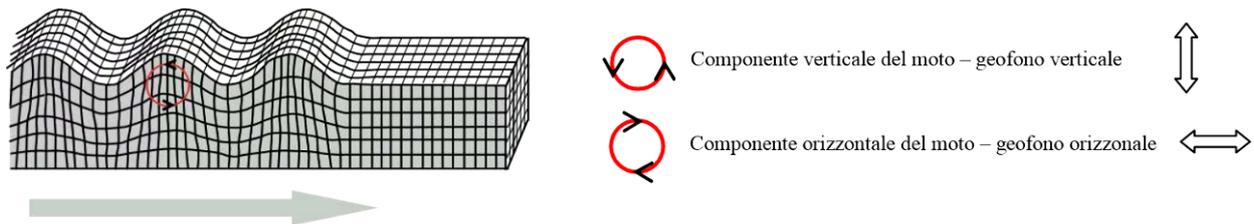
Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5 Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di X punti di energizzazione effettuati tipicamente ad una distanza compresa fra 2 m e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh), che a causa della stratificazione del mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate alla velocità delle onde di taglio S.

L'acquisizione delle onde di Rayleigh può essere fatta mediante geofoni verticali (come nel nostro caso), oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello).

Rayleigh Wave



Schema operativo acquisizioni MASW

Sulla base delle caratteristiche morfologiche del sito, è stato posizionato lo stendimento sismico, in parte nell'area d'ingombro della struttura. L'analisi è stata eseguita adottando la seguente configurazione:

- N° geofoni: 24 con frequenza propria di risonanza 4,5 Hz;
- Distanza intergeofonica: 2.0 m per complessivi 46 m di stendimento;
- Offset di battuta: n° 1 battuta disposta a -4.0 m dall'ultimo geofono.

Per quanto riguarda l'acquisizione sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

- Tempo di acquisizione: 1.0 s;
- Frequenza di campionamento: 1000 Hz;
- Periodo di campionamento: 1.0 ms.

L'analisi dei dati acquisiti dalla metodologia avviene attraverso le seguenti fasi:

1. Calcolo dello spettro di velocità; 2. Individuazione del modo fondamentale e degli eventuali superiori; 3. Calcolo della curva di dispersione mediante modellazione diretta, cioè attribuzione degli spessori e delle velocità relative, sulla base di dati riguardanti il sito acquisiti precedentemente tramite indagini dirette o bibliografia. In alternativa picking della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere ad un determinato modo; 4. Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs.

Gli spettri di velocità risultano dominati dal modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

Nella Tabella e nelle Figure sottostanti vengono riportati: l'andamento del profilo di velocità; gli spessori; le relative velocità Vs (dalle onde di Rayleigh) e la densità stimati, ricordando che, come in tutti i metodi geofisici, può essere ottenuta solo una stima del modello sismostratigrafico a causa del problema della non univocità.

La rappresentazione grafica dei risultati dell'indagine Masw viene rappresentata attraverso i diagrammi dello spettro di dispersione, il quale indica come le onde di superficie si disperdono nel terreno individuando anche i "modi superiori", dovuti generalmente alla presenza di discontinuità stratigrafiche.

L'andamento stratigrafico delle Vs viene rappresentato con un digramma dove sono indicate alle diverse profondità investigate le rispettive velocità Vs a cui si sovrappone l'andamento della curva di dispersione data da una secessione di pallini verdi.

Rigidità sismica (R)

La rigidità sismica è un parametro legato all'amplificazione sismica locale; tanto più alto risulta R tanto minore sarà l'incidenza del danno dovuto al sisma;

$$R = \gamma \cdot V_s$$

- γ = peso di volume naturale
- Vs = Velocità di taglio.

Frequenza fondamentale di Nakamura (F0)

In cui:

$$F_o = \frac{V_s}{4 \cdot H}$$

- H = spessore dello strato.
- Velocità delle onde longitudinali (Vs)

Categorie del sottosuolo di fondazione

Nei paragrafi che si riportano nel seguito sono riassunti i dati medi principali desunti dall'indagine. Nel calcolo della "Velocità equivalente" $V_{s_{eq}}$ si è tenuto conto di tutti gli strati rilevati nei profili completi riportati in precedenza. La $V_{s_{eq}}$ rappresenta la media ponderata della distribuzione delle velocità di taglio per una profondità H sotto il piano di fondazione e si ottiene applicando la seguente formula:

$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h_{(strato)}}{V_{s_{(strato)}}}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h_{(strato)}$ e dalla velocità delle onde S $V_{s_{(strato)}}$.

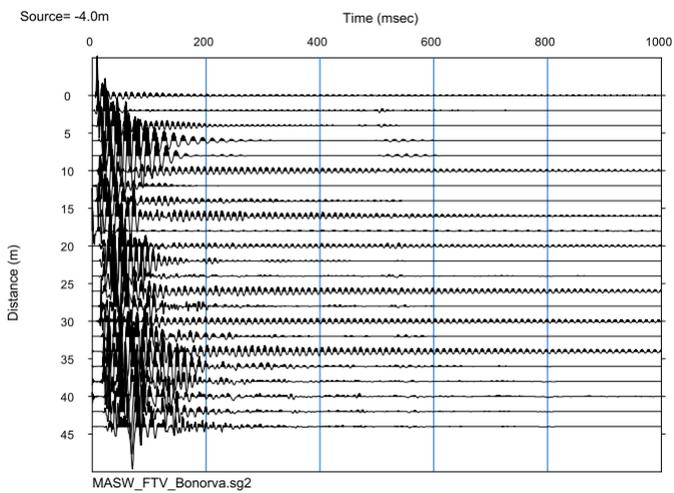
Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s_{eq}}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

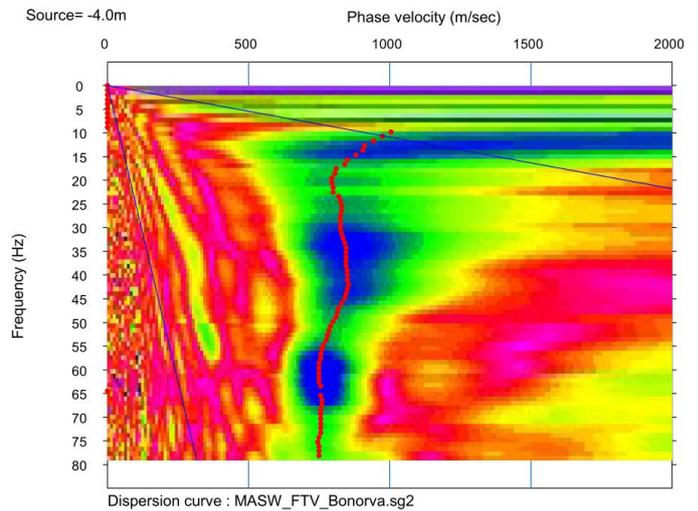
Il parametro $V_{s_{eq}}$ consente di stabilire la classe di suolo come stabilito alle NTC del 2018 e sono riportate nella tabella che segue.

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE SECONDO LE NTC DEL 2018

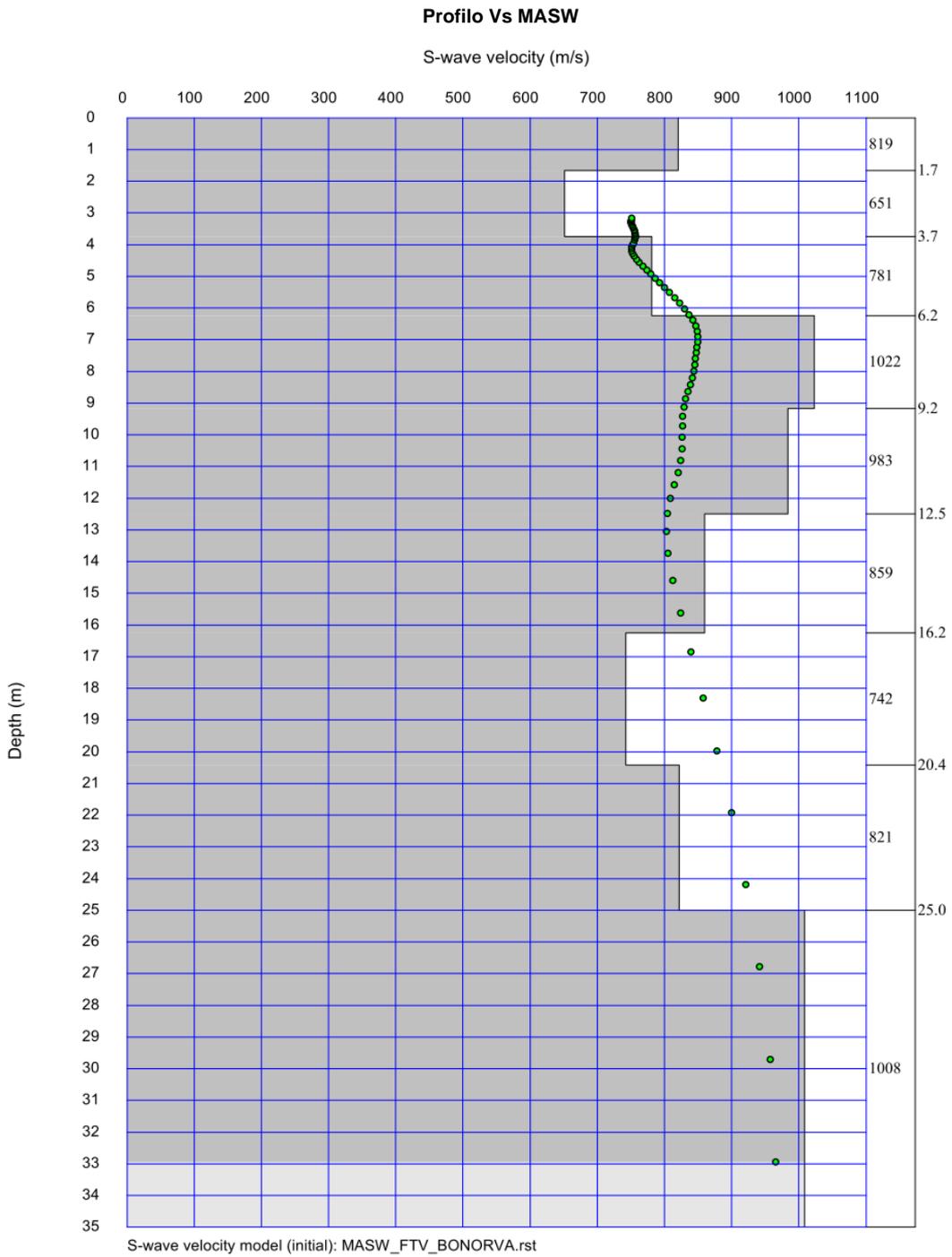
CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.



Sismogramma MASW



spettro di dispersione MASW



ALLEGATO 02 - INDAGINI CON PROVE PENETROMETRICHE

Generalità

Le prove penetrometriche sono attualmente molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione poiché può essere svolta in tutti i tipi di terreno, coesivo o granulare (dalle argille alle ghiaie), comprese le rocce tenere, fornendo lo stato d'addensamento di terreni incoerenti e la consistenza di terreni coerenti, attraverso la valutazione della resistenza dinamica alla punta degli strati attraversati. È però necessario tenere sempre ben presente che le prove dinamiche continue sono state ideate per lo studio dei terreni incoerenti, i dati elaborati per gli strati coesivi quindi, sono da considerarsi utili solo per un primo inquadramento del problema.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione (per tratti consecutivi di 10 cm) misurando il numero di colpi N necessari. La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano di campagna, ma in alcuni casi può essere condotta, con l'impiego di speciali accorgimenti, a partire dal fondo di fori di sondaggio.

Note illustrative

L'elaborazione dei dati acquisiti, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

La prova è denominata "continua" poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione della punta seguendo le raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I. 1977), mentre a livello europeo tali prescrizioni sono contenute nel documento n° 2 allegato alla procedura "ISSMFE 1988", la tabella seguente mostra la classificazione dei penetrometri attualmente in uso distinti in funzione della massa del maglio:

CLASSIFICAZIONE ISSMFE DEI PENETROMETRI DINAMICI	MASSA MAGLIO (Kg)	PROFONDITÀ MAX
--	-------------------------	-------------------

DPL (<i>Dynamic Probing Light</i>)	leggero	≤ 10	8 m
DPM (<i>Dynamic Probing Medium</i>)	medio	Da 10 a 40	20 – 25 m
DPH (<i>Dynamic Probing Heavy</i>)	pesante	Da 40 a 60	25 m
DPSH (<i>Dynamic Probing Superheavy</i>)	superpesante	≥ 60	> 25 m

Nella fattispecie la prova è stata eseguita con un penetrometro mod. DeepDrill DM30, azionato da un gruppo oleodinamico alimentato da un motore a scoppio da 4 Hp, provvisto di una massa battente di 30 Kg, classificabile quindi come tipo medio, lo strumento utilizzato per la presente indagine è composto da:

- una batteria d'aste ognuna lunga 1 m e dal peso di 2,93 Kg/m;
- una punta conica, avvitata (se a recupero) o semplicemente incastrata (se a perdere) nell'estremità inferiore della batteria d'aste interne, dal diametro di 35,7 mm ed un angolo di apertura di 60°; la superficie della punta può essere di 5 o di 10 cm²;
- un maglio da 30 Kg con una volata di 20 cm.



strumento utilizzato montato su mezzo semovente:

- 1 – testa
- 2 – supporto
- 3 – asta
- 4 – centralina oleodinamica
- 5 – transporter cingolato

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di

laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

Interpretazione dei dati

La prova consiste nell'infissione nel terreno della punta per tratti standard di 10 cm, misurando il numero di colpi N_{10} necessari alla sua penetrazione. I litotipi attraversati hanno permesso l'esecuzione della prova in totale assenza di attrito laterale, non si è così reso necessario l'utilizzo delle aste di rivestimento antiattrito.

I risultati della prova, restituiti sotto forma di diagrammi in funzione della profondità (in ordinate) e del valore N_{10} (in ascisse), evidenziano la corrispondenza tra la variazione del valore di N lungo la verticale di prova e la variazione litologica dei terreni testati.

Il valore di N potrà essere utilizzato per calcolare anche l'energia necessaria alla penetrazione dinamica alla punta. Viene comunemente valutata secondo la formula Olandese:

dove:

$$R_{pd} = \frac{m^2 \cdot g \cdot H}{a \cdot e \cdot (m + m')} = Q \cdot N$$

R_{pd} = resistenza dinamica alla punta

m = peso del maglio (Kg)

m' = peso di: aste + testa di battuta + asta di guida + dispositivo di percussione (Kg)

g = accelerazione di gravità (m/s^2)

H = altezza di caduta del maglio (m)

a = area sezione trasversale alla punta (m^2)

e = penetrazione media per colpo

Q = $(m \cdot H) / a \cdot \delta$ = energia specifica teorica per colpo [δ = avanzamento in m]

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT, è necessario applicare una correzione ai risultati delle prove SCPT, per tenere conto delle diverse modalità esecutive.

Pertanto i penetrometri con caratteristiche differenti rispetto all'SPT (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) comportano energie di infissione ovviamente differenti; la conoscenza della quantità di energia necessaria alla penetrazione della punta, al netto del valore totale comprendente l'aliquota dispersa per dissipazione lungo le aste, permette la correlazione con le caratteristiche di resistenza del terreno determinate con la prova penetrometrica continua con la prova SPT.

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N, Q) alla prova SPT (N_{SPT}, Q_{SPT}), dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente:

$$R_{pd}' = Q \cdot N = Q_{SPT} \cdot N_{SPT} \Rightarrow N_{SPT} = N(Q/Q_{SPT}) = \beta \cdot t \cdot n$$

ove il rapporto $\beta \cdot t = Q/Q_{SPT}$ viene definito "coefficiente teorico d'energia" della prova in esame, relativamente alla prova SPT ($Q_{SPT} = 7,83 \text{ Kg/cm}^2 = 0,786 \text{ Mpa}$) per $m = 63,5 \text{ Kg}$, $a = 20,27 \text{ cm}^2$, $\delta = 0,30 \text{ m}$.

Il penetrometro utilizzato nella presente indagine è stato utilizzato con la punta di 10 cm², per cui risulta avere un coefficiente teorico d'energia rispetto alla SPT di 0,74 ed una energia specifica per colpo di 6 Kg/cm².

Il margine di valori N₁₀ (n° di colpi per un avanzamento di 10 cm) che si ritiene utile perché la prova possa fornire dei risultati validi è compreso tra un minimo 4 ed un massimo di 80.

Risultati delle prove penetrometriche

DIN 1

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm ²)	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0,6	3	0,765	10,93	2	1,33	1,83	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	65		Suolo argilloso

DIN 2

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm ²)	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0,3	15	0,753	54,62	11	1,5	1,93	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	65		Suolo argilloso

Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un software dedicato che calcola in automatico il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981), permette inoltre estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Al fine di ottenere dei dati quanto più possibili esaustivi si è optato per l'utilizzo contemporaneo di più metodologie di calcolo dei parametri geotecnici in funzione dei terreni attraversati.

Di seguito vengono esposti i diversi metodi di calcolo utilizzati per ottenere la parametrizzazione geotecnica dei terreni:

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (Ey)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa $\gamma = 2,65$ t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (Ko)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con Nc=20 e Qc/Nspt=2.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP< 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP< 20) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Qc/Nspt=1.5-2.0$).
- Buissmann- Sanglerat, valida per argille compatte ($Nspt < 30$) medie e molli ($Nspt < 4$) e argille sabbiose ($Nspt=6-12$).

Modulo Di Young (EY)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa $G=2,70$ (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ($Nspt=0$) a 0,545 ($Nspt=28$)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: Deep Drill DM30 10cmq

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	16,5 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,93 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,60 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,753
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

PROVA DIN1

Strumento utilizzato...

Deep Drill DM30 10cmq

Prova eseguita in data

27/01/2023

Profondità prova

,60 mt

Falda non rilevata

Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,10	5	0,857	15,60	18,21	0,78	0,91
0,20	11	0,855	34,23	40,06	1,71	2,00
0,30	14	0,803	40,92	50,98	2,05	2,55
0,40	6	0,851	18,59	21,85	0,93	1,09
0,50	6	0,849	18,55	21,85	0,93	1,09
0,60	3	0,847	9,25	10,92	0,46	0,55

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	2	0,60	Terzaghi-Peck	0,13

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	2	0,60	Stroud e Butler (1975)	9,18

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato 1	2	0,60	Apollonia	20,00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	2	0,60	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	2	0,60	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,33

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	2	0,60	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,83

PROVA DIN2

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq
 Prova eseguita in data 27/01/2023
 Profondità prova ,30 mt
 Falda non rilevata
 Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,10	15	0,807	44,06	54,62	2,20	2,73
0,20	35	0,705	89,81	127,45	4,49	6,37
0,30	38	0,703	97,24	138,38	4,86	6,92

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	11	0,30	Terzaghi-Peck	0,74

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	11	0,30	Stroud e Butler (1975)	50,47

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato 1	11	0,30	Apollonia	110,00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	11	0,30	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	11	0,30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,50

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	11	0,30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,93